



TUGAS AKHIR – TL141584

**PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM DAN WAKTU  
*AGING* PADA PROSES *PRECIPITATION HARDENING*  
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT  
KEKERASAN PADUAN TEMBAGA-SENG (Cu-37%wt Zn)**

Muhammad Fajar Ismail  
NRP 2713 100 100

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



FINAL PROJECT - TL141584

**EFFECT OF ALUMINIUM (Al) ADITTION AND AGING  
TIME IN PRECIPITATION HARDENING PROCESS ON  
MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES  
COPPER-ZINC (Cu-37%wt Zn) ALLOY**

Muhammad Fajar Ismail  
2713100100

Advisors

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, ST, M.Sc  
Alvian Toto Wibisono, S.T.,M.T

Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM DAN WAKTU  
AGING PADA PROSES *PRECIPITATION HARDENING*  
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT  
KEKERASAN PADUAN TEMBAGA-SENG (Cu-37%wt Zn)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MUHAMMAD FAJAR ISMAIL**  
NRP 2713100100

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)

2. Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.....(Pembimbing 2)



**PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINIUM DAN WAKTU  
AGING PADA PROSES *PRECIPITATION HARDENING*  
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT  
KEKERASAN PADUAN TEMBAGA-SENG (Cu-37%wtZn)**

**Nama** : Muhammad Fajar Ismail  
**NRP** : 2710 100 100  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen** : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc.  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

***Abstrak***

*Kuningan (Cu-Zn) merupakan paduan antara tembaga dan seng yang banyak digunakan dalam bidang industri untuk propeller, kabel serta mur dan baut. Kuningan memiliki sifat yang unggul seperti ketahanan korosi, konduktivitas listrik, konduktivitas panas serta formability dan machinability yang baik, namun memiliki kekerasan yang kurang tinggi. Penambahan paduan dan perlakuan panas dilakukan untuk meningkatkan sifat kekerasan kuningan. Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan aluminium dan waktu aging terhadap struktur mikro dan sifat kekerasan paduan Cu-37Zn. Paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al dilebur menggunakan furnace dengan temperatur 1100°C. Setelah dilebur logam cair dituang pada cetakan pasir dan didinginkan. Selanjutnya dilakukan pengujian komposisi kimia. Kemudian dilakukan proses precipitation hardening yang terdiri dari proses solution treatment dan aging. Proses solution treatment dilakukan pada temperatur 450°C dilanjutkan pendinginan cepat dengan media air. Kemudian dilakukan proses aging pada temperatur 250°C dengan waktu aging 1,2,3 dan 4 jam. Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian komposisi kimia dengan Optical Emission Spectroscopy (OES), difraksi sinar-X (XRD), metalografi dan pengujian sifat kekerasan. Struktur mikro yang terbentuk adalah fasa  $\alpha$  dan  $\beta$ . Penambahan aluminium merubah bentuk*

*struktur mikro dari dendritik menjadi equiaksial dan mempromosikan lebih banyak fasa  $\beta$  sehingga meningkatkan kekerasan paduan Cu-37Zn. Struktur mikro dari paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al yang dihasilkan setelah solution treatment tidak mengalami perubahan fasa, akan tetapi menurunkan luas area dari fasa  $\beta$ . Setelah proses aging, luas area fasa  $\beta$  menjadi lebih besar seiring dengan meningkatnya waktu aging. Proses precipitation hardening meningkatkan kekerasan paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al. Nilai kekerasan paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al tertinggi pada paduan precipitation hardening dengan waktu aging 3 jam dengan nilai 73,8 HV dan 147,7 HV.*

***Kata kunci: Cu-Zn, Cu-Zn-Al, Precipitation Hardening, Waktu Aging***

**EFFECT OF ADDITION ALUMINUM (Al) AND AGING  
TIME IN PRECIPITATION HARDENING PROCESS ON  
MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES  
COPPER-ZINC ALLOY (Cu-37%wt Zn)**

**Nam** : Muhammad Fajar Ismail  
**NRP** : 2710 100 100  
**Departement** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Advisor** : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc.  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

***Abstract***

*Brass (Cu-Zn) is an alloy of copper and zinc that used in many industrial fields, such as propeller, pipes, nuts and bolts. It has good corrosion resistance, electrical conductivity, thermal conductivity also good formability and machinability but has a low hardness. Adding an alloy and heat treatment process needed to increase hardness properties. In this study, the addition of aluminum (Al) of 1% al followed by precipitation hardening to determine their effects on the microstructure and properties of hardness in the alloy Cu-37Zn. This alloy is melted using a furnace with temperatur 1100°C without holding. After melted, molten metal is poured in sand molds and cooled. Next, chemical composition was tested. Then precipitation hardening process which consist solution treatment and aging was occured. Solution treatment process was carried out at a temperature of 450°C continued for rapid cooling with water cooling and aging process is carried out at temperature 250°C with aging time 1,2,3 and 4 hours. After aging process, alloys was cooled in air cooling. The test used in this research is chemical composition test with optical emission spectroscopy (OES), x-ray diffraction (XRD), metallography and hardness test. Microstructure that's formed is  $\alpha$  and  $\beta$  phase. The addition of aluminum changed the shape of the microstructure from dendritic to equiaxed and promoting more  $\beta$  phase that increased the hardness of Cu-37Zn alloys. The*

*microstructure of Cu-37Zn and Cu-36Zn-1Al alloys produced after solution treatment did not undergo phase change, but decreased the area of  $\beta$ -phase. After the aging process, the area of  $\beta$ -phase becomes larger as the aging time increases. The precipitation hardening process increases the hardness of Cu-37Zn and Cu-36Zn-1Al alloys. The highest hardness of Cu-37Zn and Cu-36Zn-1Al alloys is precipitation hardening alloys for 3-hour aging time with 73.8 and 147.7 HV.*

***Keywords: cu-zn, cu-zn-al, precipitation hardening, aging time***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, anugerah dan petunjuk-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul :

*“Pengaruh Penambahan Aluminium Dan Waktu Aging Pada Proses Precipitation Hardening Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Kekerasan Paduan Tembaga-Seng (Cu-37%Wt Zn)”*

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang kepada :

1. Allah SWT, yang senantiasa menjadi tempat mencurahkan keluh kesah serta senantiasa menjadi penulis
2. Kedua orang tua penulis atas segala doa, dukungan moril dan materil, pengertian dan semangat yang telah diberikan selama ini
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. dan Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis
4. Dr Agung Purniawan, S.T, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dan Dian Mughni Felicia, S.T, M.Sc selaku dosen wali yang selalu memberi bimbingan dan menjadi orang tua kedua selama di perkuliahan
5. Dosen Tim Penguji seminar dan sidang, serta seluruh dosen dan staff Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tembaga.....	5
2.2 Zinc .....	6
2.3 Aluminium .....	8
2.4 Kuningan (Cu-Zn).....	9
2.5 Pengaruh Unsur Paduan .....	14
2.6 <i>High Strength Yellow Brass (Manganese Bronze)</i> .....	18
2.7 Pengecoran .....	21
2.8 <i>Sand Casting</i> .....	22



2.9 <i>Precipitation Hardening</i> .....	24
2.10 <i>Propeller</i> .....	25
2.11 Penelitian Sebelumnya .....	26

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	33
3.2 Bahan.....	34
3.3 Alat.....	36
3.4 Prosedur Percobaan.....	39
3.4.1. Prosedur Pengecoran .....	39
3.4.2. Preparasi cetakan .....	41
3.4.2. <i>Solution Treatment</i> .....	43
3.4.3. <i>Aging</i> .....	43
3.5 Proses Pengujian .....	43
3.5.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	44
3.5.2 Pengujian Struktur Mikro .....	44
3.5.3 Pengujian Kekerasan .....	45
3.5.4 Pengujian Fasa.....	46
3.6 Rancangan Penelitian .....	47

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Pengecoran Paduan Cu-Zn dan Cu-Zn-Al .....	49
4.2 Komposisi Kimia Paduan Cu-Zn dan Cu-Zn-Al .....	50
4.3 Pengamatan Hasil <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	51
4.3.1. Paduan Cu-37Zn .....	52
4.3.2. Paduan Cu-36Zn-1Al.....	53

4.4 Pengamatan Struktur Mikro .....	55
4.4.1. Paduan Cu-37Zn .....	55
4.4.2. Paduan Cu-36Zn-1Al .....	58
4.4.3. Perhitungan % Luas Area $\alpha$ dan $\beta$ Paduan Cu- 37Zn dan Cu-36Zn-1Al .....	60
4.5. Pengujian Kekerasan Paduan Cu-Zn dan Cu-Zn-Al .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>72</b>

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fasa Cu-Zn.....	12
Gambar 2.2	a) Kuningan dengan 47,5% Zn pasca pegecoran (Kuningan $\beta$ homogen); (b) Kuningan dengan 52% Zn pasca pengecoran (Kristal $\gamma$ diantara struktur dasar $\beta$ ).....	14
Gambar 2.3	Pengaruh penambahan aluminium terhadap struktur mikro paduan Cu-Zn.....	15
Gambar 2.4	Ternary Diagram Cu-Zn-Al pada temperatur ruangan .....	19
Gambar 2.5	Contoh aplikasi untuk <i>high strength yellow brass</i> pada (a) <i>rod bearing</i> pesawat (Copper Development Association, 1998), (b) <i>rolling mill</i> (c) mur dan baut untuk aplikasi di laut, dan <i>propeller</i> pada kapal .....	21
Gambar 2.6	Skema cetakan pasir.....	23
Gambar 2.7	Diagram Fasa Cu-Zn (35-40wt% Zn).....	25
Gambar 2.8	Manganese bronze propeller .....	26
Gambar 2.9	Skema proses <i>precipitation hardening</i> .....	27
Gambar 2.10	Struktur mikro; a. 60%Cu,40%Zn ( <i>commercial grade</i> ); b. 60%Cu+39%Zn+1%Sn ( <i>non-precipitation hardening</i> ); c. <i>Precipitation hardening</i> .....	28
Gambar 2.11	Perbandingan kekerasan sampel dalam berbagai kondisi.....	30
Gambar 2.12	Perbandingan kekuatan tarik sampel dalam berbagai kondisi.....	31
Gambar 2.13	Struktur mikro paduan (a) Cu-Zn, (b) Cu-Zn-1Al, (c) Cu-Zn-2Al, (d) Cu-Zn-3Al, dan (e) Cu-Zn-4Al tanpa chill, dengan perbesaran 1000x .....	31

Gambar 2.14 Pola XRD paduan Cu-Zn-Al .....	32
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	33
Gambar 3.2 Tembaga (Cu) .....	34
Gambar 3.3 Anoda Zn .....	35
Gambar 3.4 Aluminium (Al) .....	35
Gambar 3.5 Tungku bakar ( <i>burner</i> ) .....	36
Gambar 3.6 Krusibel Grafit .....	36
Gambar 3.7 <i>Muffle Furnace</i> .....	37
Gambar 3.8 Timbangan Digital .....	37
Gambar 3.9 Gergaji Tangan .....	38
Gambar 3.10 <i>Material balance</i> pengecoran Cu-36Zn-1Al .....	39
Gambar 3.11 Skema peleburan dengan <i>crucible</i> furnace .....	40
Gambar 3.12 Bentuk cetakan pada proses pengecoran .....	42
Gambar 3.13 Rancangan bentuk spesimen hasil cetakan .....	42
Gambar 3.14 Skema diagram proses <i>precipitation hardening</i> selama penelitian .....	43
Gambar 3.15 Prinsip pengujian OES .....	44
Gambar 3.16 Alur sinar pada pengamatan metalografi .....	45
Gambar 3.17 Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A .....	46
Gambar 3.19 Prinsip kerja XRD .....	47
Gambar 4.1 Hasil coran paduan (a) Cu-37Zn, (b) Cu-36Zn-1Al .....	50
Gambar 4.2 Pola XRD paduan Cu-37Zn dalam berbagai kondisi .....	53

Gambar 4.3 Pola XRD paduan Cu-37Zn dalam berbagai kondisi .....	54
Gambar 4.4 Perbandingan pola XRD paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al.....	54
Gambar 4.5 Pola XRD paduan Cu-36Zn-1Al dalam berbagai kondisi.....	55
Gambar 4.6 Pola XRD paduan Cu-36Zn-1Al dalam berbagai kondisi.....	56
Gambar 4.7 Strukturmikro paduan Cu-37Zn (a) <i>as-cast</i> ; (b) <i>solution treatment</i> 450°C; (c) <i>aging</i> 1 jam; (d) <i>aging</i> 2 jam; (e) <i>aging</i> 3 jam; (f) <i>aging</i> 4 jam.....	58
Gambar 4.8 Perbandingan struktur mikro paduan: (a)Cu-37Zn, (b)Cu-36Zn-1Al perbesaran 100x.....	59
Gambar 4.9 Strukturmikro paduan Cu-36Zn-1Al (a) <i>as-cast</i> ; (b) <i>solution treatment</i> 450°C; (c) <i>aging</i> 1 jam; (d) <i>aging</i> 2 jam; (e) <i>aging</i> 3 jam; (f) <i>aging</i> 4 jam.....	60
Gambar 4.10 Grafik % Luas area $\alpha$ dan $\beta$ pada paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al.....	63
Gambar 4.11 Grafik nilai kekerasan terhadap perlakuan specimen .....	66

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Tembaga .....	5
Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Zinc.....	6
Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Aluminium .....	8
Tabel 2.4 Standar spesifikasi <i>marine manganese bronze propeller</i> .....	26
Tabel 2.5 Kekerasan paduan Cu-Zn-Al.....	31
Tabel 3.1 % komposisi <i>raw material</i> dan <i>loss</i> selama peleburan.... .....	40
Tabel 3.2 Komposisi <i>raw material input</i> .....	40
Tabel 3.3 Rancangan penelitian .....	47
Tabel 4.1 Komposisi kimia paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al .....	50
Tabel 4.2 % Luas area $\alpha$ dan $\beta$ pada paduan Cu-37Zn dan Cu- 36Zn-1Al .....	60
Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al .	64



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kuningan (Cu-Zn) merupakan paduan antara tembaga dengan zinc. Paduan ini banyak digunakan dalam bidang industri seperti pipa, kabel, mur dan baut serta poros propeler karena ketahanan korosi, konduktivitas listrik dan panas, kemampuan dibentuk dan dimesin yang baik. Kekuatan, kekerasan dan keuletan paduan akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar zinc. Zinc membuat paduan tembaga menjadi lebih keras sehingga lebih baik dikerjakan dengan permesinan. Kuningan dapat digunakan untuk alat penukar panas, suku cadang yang tahan korosi dan kuat serta memiliki keuletan yang baik. Kuningan dengan kadar paduan Cu-37Zn banyak digunakan dalam bidang otomotif, elektrik, industri dan kelautan. Salah satu aplikasi dari paduan ini adalah sebagai *propeller* atau baling-baling pada kapal karena memiliki kekuatan dan ketahanan korosi yang baik, namun memiliki kekerasan yang kurang tinggi (ASM Metal Handbook, 1990).

Beberapa penelitian tentang peningkatan sifat mekanik paduan Cu-Zn telah dilakukan. Peningkatan sifat kekerasan dan kekuatan paduan Cu-Zn dibutuhkan untuk meningkatkan potensi penggunaan paduan ini dalam industri dan perkembangan teknologi. Metode yang paling banyak digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan kuningan adalah dengan menambahkan unsur paduan lain seperti besi, nikel, aluminium dan timah untuk penguatan larutan padat dan meningkatkan fraksi area dari fasa keras  $\beta$ . Namun, *machinability* pada paduan kuningan menurun ketika jumlah unsur paduan yang ditambahkan terlalu banyak, karena senyawa intermetalik yang bersifat kasar dan getas terbentuk dalam matriks. Karena itu, unsur paduan yang ditambahkan dalam kuningan harus dalam jumlah kecil, karena dapat meningkatkan kekuatan dengan mengurangi kadar senyawa intermetalik dan menyebarkan senyawa intermetalik halus didalam matriks (Chuaiphan, 2013).



Metode lain yang digunakan adalah dengan cara perlakuan *solution treatment* dan dilanjutkan dengan proses *aging*. Perlakuan *solution treatment* menghasilkan struktur yang baik dan larutan padat lewat jenuh. Kisi tembaga mampu melarutkan sejumlah atom logam lainnya, misalnya Sn, Zn dan Al. Dengan dilanjutkan proses *aging*, akan terbentuk presipitat. Presipitat ini akan meningkatkan kekuatan dasar material dan mempengaruhi perilaku penguatan. Keuntungan dari paduan *precipitation hardening* adalah ketahanan relaksasi. Artinya, jika material terkena suhu tinggi, presipitat tidak larut dan peningkatan kekerasan dasar material dapat dipertahankan (Chuaiphan, 2013).

Pada penelitian kali ini, paduan tembaga dan zinc akan ditambahkan dengan unsur Al dengan menggunakan metode pengecoran. Setelah proses pengecoran, dilanjutkan dengan *precipitation hardening* yang terdiri dari *solution treatment* dan *aging*. Dengan melihat kemampuan aluminium dan proses *aging* untuk meningkatkan kekerasan paduan Cu-Zn, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh penambahan aluminium dan waktu *aging* pada proses *precipitation hardening* terhadap struktur mikro dan kekerasan pada paduan Cu-37Zn.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan aluminium dan waktu *aging* terhadap struktur mikro paduan Cu-37Zn?
2. Bagaimana pengaruh penambahan aluminium dan waktu *aging* terhadap kekerasan paduan Cu-37Zn?

## **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Distribusi paduan dianggap homogen
2. Kecepatan pendinginan pada proses *aging* dianggap konstan
3. Pengaruh unsur pengotor diabaikan
4. Reaksi logam cair dengan lingkungan diabaikan

---

## **BAB I PENDAHULUAN**



#### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh penambahan aluminium dan waktu *aging* terhadap struktur mikro paduan Cu-37Zn
2. Menganalisis pengaruh penambahan aluminium dan waktu *aging* terhadap kekerasan paduan Cu-37Zn.

#### 1.5. Manfaat penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh penambahan aluminium dan waktu *aging* terhadap kekerasan dan struktur mikro paduan Cu-37Zn sehingga dapat menghasilkan produk kuningan Cu-Zn-Al yang memiliki sifat mekanik yang baik dan dapat digunakan dalam pengembangan penelitian selanjutnya.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Tembaga

Tembaga merupakan logam setelah baja yang banyak digunakan karena memiliki kemampuan dimesin/dikerjakan yang baik, daya tahan korosi, konduktor listrik dan panas yang tinggi. Tembaga banyak digunakan sebagai material penghantar listrik/kawat listrik. Tembaga memiliki daya tahan korosi yang baik di dalam air, dalam tanah maupun dalam air laut, hal ini disebabkan adanya lapisan oksida yang melapisi permukaannya. Tembaga memiliki kekuatan tarik menengah dan dapat ditingkatkan dengan memadu seng atau timah menjadi *brass* (kuningan) dan *bronze* (perunggu) (Konrad, 2006).

**Tabel 2.1.** Karakteristik Tembaga (Konrad, 2006)

Sifat-sifat	Nilai
Struktur kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. $10^3\text{kg/m}^3$ )	8.93
Titik cair (°C)	1083
Koefisien mulur panas kawat 20°~100°C ( $10^{-6}/\text{K}$ )	17.1
Konduktifitas panas 20°~400°C (W/(m K))	393
Tahanan listrik 20°C ( $10^{-8}\text{ K}\Omega\text{ m}$ )	1.673
Modulus elastisitas (GPa)	128
Modulus kekakuan (GPa)	46.8

Tembaga murni atau tembaga tak berpaduan merupakan suatu material teknik yang penting karena memiliki konduktifitas listrik yang tinggi, sehingga banyak digunakan di



industri listrik. Tembaga *Electrolytic tough-pitch* (ETP) adalah tembaga yang tidak terlalu mahal dan digunakan untuk memproduksi kawat, batang, plat dan plat tipis. Tembaga ETP adalah tembaga yang telah dimurnikan kandungan besi sulfidanya dalam dapur pemurnian.

Tembaga ETP mengandung oksigen sekitar 0.04% dalam bentuk  $\text{Cu}_2\text{O}$  saat dicor. Oksigen bukan merupakan ketidakmurnian yang penting namun bila dipanaskan diatas  $400^\circ\text{C}$  dalam atmosfer hidrogen maka hydrogen akan menyusup ke tembaga bereaksi membentuk tembaga dan uap air. (Konrad, 2006)



Uap air ini terjebak dan membentuk lubang-lubang dalam terutama dalam batas butir yang membuat tembaga menjadi getas. Fenomena penggetasan yang disebabkan oleh hidrogen ini yang disebut *Hydrogen Embrittlement*. Untuk menghindari *hydrogen embrittlement* yang disebabkan  $\text{Cu}_2\text{O}$ , oksigen dapat direaksikan dengan fosfor untuk membentuk phosphor pentoksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) yang tidak membuat tembaga getas (Konrad, 2006).

## 2.2. Zinc

Zinc adalah unsur dengan nomor atom 30 serta memiliki lambang Zn tabel 2.2 Menunjukkan sifat fisik dan sifat mekanik dari logam Zn.

**Tabel 2.2.** Sifat fisik dan mekanik Zinc (Callister, 2007)

Sifat	Nilai
Nomor atom	30
Massa atom	65.41
Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )	7.13
Struktur Kristal	HCP



---

Titik leleh ( $^{\circ}\text{C}$ )	420
<i>Tensile strength</i>	4000 psi
Modulus <i>young</i>	1 x 107 psi
<i>Hardness (Brinell)</i>	30

---

Zinc umumnya digunakan sebagai *coating* untuk baja untuk mencegah korosi. Zinc lebih anodic dibandingkan baja dan dalam atmosfer korosi lapisan zinc berperan sebagai anoda tumbal. Zinc akan terkonsumsi ketika melindungi baja dari serangan korosi. Lapisan zinc metalik dapat diaplikasikan dalam berbagai metode seperti *hot-dip galvanizing*, *electrogalvanizing*, *painting*, *metallizing*, atau *spraying* dari logam cair, dan dengan sementasi. Produk baja yang telah digalvanisasi seperti baut, rantai, pagar, *hardware*, pipa, sekrup, kabel (Avner, 1974).

Zinc bukan merupakan logam yang tahan terhadap korosi, tetapi Zinc digunakan sebagai logam tumbal untuk proteksi katodik dari baja. Umumnya zinc berbentuk *bar* atau *slab* yang digunakan sebagai anoda untuk melindungi lambung kapal, *pipelines*, dan struktur yang lainnya. Paduan zinc dibuat dengan proses *die casting* karena titik lelehnya yang rendah. Beberapa komponen kendaraan dari zinc dibuat dengan proses *die casting* tetapi biasanya dilapisi dengan logam yang tahan korosi (Fontana, 1987).

Oksida zinc digunakan dalam manufaktur dari *dental cement*, lapisan gigi, kaca, ban, dan *tubes*. Zinc dapat mudah dibuat menjadi beberapa bentuk dengan beberapa metode fabrikasi umum. Zinc murni memiliki temperature rekristalisasi dibawah temperature ruangan, jadi tidak dapat dikeraskan pada temperature ruangan. Adanya pengotor alami atau elemen yang lain meningkatkan temperature rekristalisasi. Semakin sedikit kemurnian dari zinc akan meningkatkan peningkatan dalam kekerasan dan kekuatan (Avner, 1974).





### 2.3. Aluminium

Aluminium adalah elemen logam kedua terbanyak di dunia. Sebanyak 8 % dari kulit bumi tersusun dari aluminium, unsur ini biasa ditemukan dalam bentuk oksida yang dikenal sebagai bauksit. Aluminium menjadi logam *non-ferrous* terbanyak yang digunakan dalam basis volume. (Roberge, 2000).

Aluminium dan paduannya memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah kekuatannya yang tinggi jika dibandingkan dengan beratnya, tahan terhadap korosi, tidak beracun, mudah dibentuk dan di *machining*, non magnetic. Penggunaan aluminium dan paduannya diantaranya untuk aplikasi arsitektur dan structural, transportasi (pesawat dan aplikasi *aerospace*) aplikasi elektrik (sebagai konduktor elektirikal non magnetic dan ekonomis), peralatan rumah tangga. Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik dan sifat mekanik dari Aluminium (Kalpakjian, 2009).

**Tabel 2.3.** Sifat Fisik dan Mekanik Aluminium (Callister, 2007)

Sifat	Nilai
Nomor atom	13
Massa atom	26.98
Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	2.71
Struktur Kristal	FCC
Titik leleh (°C)	660.4
<i>Tensile strength</i>	13000 psi
Modulus <i>young</i>	69 GPa
<i>Shear modulus</i>	25 GPa

Salah satu karakteristik terpenting dari Aluminium adalah *machinability* dan *workability* nya. Aluminium dapat di cor dengan metode apa saja, dapat di *roll* ke ketebalan yang



diinginkan, *stamped*, *drawing*, di tempa dan di *extrude* menjadi hampir ke semua bentuk (Avner, 1974).

Aluminium murni, paduan 1100 (kandungan 99% Al), cocok untuk aplikasi dimana dibutuhkan sifat mampu bentuk yang baik dan resistansi korosi yang baik dan kekuatan yang tinggi tidak dibutuhkan. Aluminium jenis ini telah banyak digunakan untuk peralatan memasak, komponen arsitektur, kemasan makanan (Avner, 1974).

Sifat mekanik dari aluminium dapat ditingkatkan dengan paduan, dengan *strain hardening*, perlakuan termal, atau kombinasi dari ketiganya. Tembaga, Magnesium, Mangan, Silikon, dan Zinc digunakan sebagai konstituen utama dalam paduan aluminium. Krom, timbal, nikel, dan elemen lain digunakan untuk tujuan special sebagai konstituen minor. Pengotor seperti besi akan mempengaruhi performa dari paduan aluminium dan harus dipertimbangkan. Aluminium murni dapat diperkuat dengan memadukannya dengan Mn dalam jumlah kecil (hingga 1.25%) dan Magnesium (hingga 3.5%). Paduan ini dan aluminium murni dapat dikeraskan dengan *cold work* hingga kekuatan tariknya 200 sampai 300 MPa (Roberge, 2000).

#### **2.4. Kuningan (Cu-Zn)**

Kuningan berasal dari zaman Romawi. Dalam sistem ini terdapat 6 fasa yaitu:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ , dan  $\eta$ , dari semua fasa itu yang penting secara industri adalah dua, yaitu  $\alpha$  dan  $\beta$ .  $\alpha$  mempunyai struktur *fcc* dan  $\beta$  mempunyai struktur *bcc*. Ada juga fasa  $\beta'$  dengan kisi super. Seperti telah diketahui dari diagram fasa untuk kuningan 70-30, fasa  $\alpha$  merupakan fasa yang lunak dan mudah dikerjakan, sedangkan kuningan 60-40, adalah fasa  $\alpha + \beta$  yang mempunyai kekuatan tinggi. Paduan dengan kira-kira 45%Zn mempunyai kekuatan yang paling tinggi akan tetapi tidak dikerjakan, jadi hanya dipergunakan untuk paduan coran (Mirza Wibisono, 2009).

Kuningan memiliki beberapa kelebihan yaitu sifat mampu cor yang baik, biaya produksi lebih murah, kekuatan tinggi, ketahan



korosinya baik. Kuningan dibagi menjadi 6 subkategori dari segi pengecoran (ASM Metal Handbook vol 2, 1992):

### **1. Red dan Leaded Red Brasses**

*Red brasses* (C83300-C83810) adalah hasil pengecoran tembaga, seng, timbal, dan timah. Paduan ini mengandung 8% Zn. Paduan ini memiliki struktur kristal FCC  $\alpha$ . Konduktivitas listrik logam ini tidak terlalu tinggi. *Leaded red brasses* mengandung 7%Pb. Unsur ini dapat menghasilkan ketahanan tekan dengan cara menyegel poros penyusutan interdendritik saat proses solidifikasi. Timbal dapat meningkatkan *machinability*. Paduan ini banyak diaplikasikan untuk pembuatan impellar, pipa saluran air, katup, dan beberapa produk lain.

### **2. Semi-Red and Leaded Semi-Red Brasses**

Paduan ini (C84200-C84800) memiliki kandungan sebanyak 15% Zn. Seng mengurangi ketahanan korosi, dan hanya berpengaruh kecil terhadap nilai kekuatan paduan. Struktur mikro paduan ini kebanyakan dalam fase tunggal  $\alpha$ , walaupun terkadang fasa  $\beta$  FCC dapat muncul ketika diamati. Kebanyakan paduan ini digunakan pada low-pressure valves, dan pipa saluran air.

### **3. Yellow and Leaded Yellow Brasses**

(C85200-C85800) Paduan ini mengandung 20-40% Zn dan memiliki mikrostruktur  $\alpha$  total dengan satu fasa  $\beta$  ukuran besar. Walaupun  $\beta$  sedikit mengalami penurunan keuletan pada temperatur ruangan, namun keuletan akan meningkat saat mencapai temperatur solidus. Kandungan paduan ini terdapat pada alloy C85800 dengan 40%Zn. Aplikasi dari paduan ini banyak digunakan pada perangkat keras dekoratif elektronik, pipa, dan beberapa aplikasi lainnya.

### **4. High-Strength Brasses**

Logam ini sering disebut sebagai perunggu-mangan dan kuningan dengan kekuatan tarik tinggi. Sifat mekanik seperti kekuatan yang tinggi berasal dari fasa beta yang terkandung pada struktur mikro paduan. Fasa  $\beta$  stabil saat berada pada komposisi 39,5 % Zn. Penambahan kekuatan akan dihasilkan jika terdapat sedikit unsur besi, dimana besi mengalami presipitasi dan akan



menghasilkan senyawa intermetalik. *High-strength yellow brasses* banyak digunakan untuk roda gigi, baut, katup uap, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi, tahan aus, tahan korosi.

#### 5. *Silicon Brasses/Bronzes*

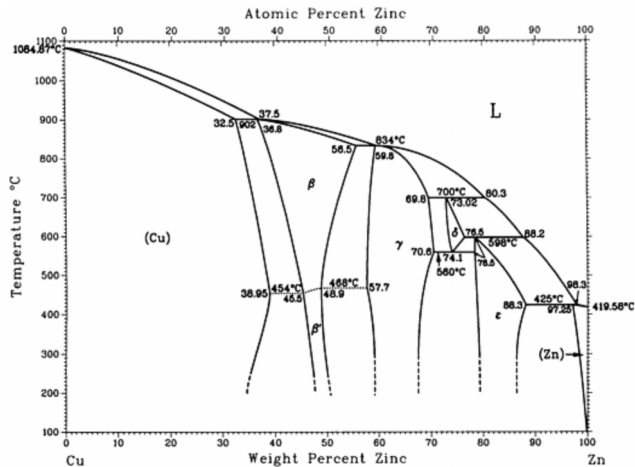
Karakteristik paduan ini adalah memiliki temperatur penguapan yang rendah tetapi fluiditasnya tinggi. Nilai kekuatan dan ketahanan korosi logam ini akan meningkat saat dimanufaktur dengan proses pengecoran. *Silicon brasses* dapat digunakan sebagai pengganti pipa saluran air *lead-brasses*, tetapi sifat mampu mesinnya terbatas.

Aplikasi logam ini berupa *bearing* (bantalan), roda gigi, pompa, dan komponen katup.

#### 6. *Copper-Bismuth, Copper-Selenium-Bismuth Brasses*

Bismut dan tembaga-selenium-bismut (SeBiLoy) adalah paduan rendah coran timbal banyak digunakan pada alat-alat pembuatan makanan dan pipa saluran. Penurunan kadar timbal akan meningkatkan kemampuan machining dan ketahanan tekan paduan kuningan-timbal.

Dalam keadaan padat Cu mampu melarutkan Zn sangat banyak didalam kristal campurannya. Pada temperatur 902 °C terjadi transformasi peritektik dimana Zn larut sebesar 32,5%. Kelarutan ini meningkat sampai dengan temperatur sekitar 450 °C menjadi 39% dan kemudian pada kondisi keseimbangan akan kembali menurun, yaitu pada proses pemanasan panjang dan pendinginan sangat lama. Pada proses pendinginan yang umum dicapai secara teknis, struktur kuningan dengan kandungan Zn 39% setelah perlakuan panas biasanya akan terdiri dari kristal  $\alpha$  yang homogen tanpa ada sedikitpun kristal  $\beta$ . Kuningan inilah yang kemudian dikenal dengan kuningan  $\alpha$  (alfa) yang memiliki sifat ulet namun cukup memiliki keternesinan yang baik dengan unit sel FCC seperti pada umumnya paduan tembaga lainnya. (Schumann, 1983). Gambar 2.1. menunjukkan diagram fasa kuningan (Cu-Zn)



**Gambar 2.1.** Diagram Fasa Cu-Zn (ASM Metal Handbook, 1992)

Dalam keadaan padat Cu mampu melarutkan Zn sangat banyak didalam kristal campurannya. Pada temperatur 902 °C terjadi transformasi peritektik dimana Zn larut sebesar 32,5%. Kelarutan ini meningkat sampai dengan temperatur sekitar 450 °C menjadi 39% dan kemudian pada kondisi keseimbangan akan kembali menurun, yaitu pada proses pemanasan panjang dan pendinginan sangat lama. Pada proses pendinginan yang umum dicapai secara teknis, struktur kuningan dengan kandungan Zn 39% setelah perlakuan panas biasanya akan terdiri dari kristal  $\alpha$  yang homogen tanpa ada sedikitpun kristal  $\beta$ . Kuningan inilah yang kemudian dikenal dengan kuningan  $\alpha$  (alfa) yang memiliki sifat ulet namun cukup memiliki keternesinan yang baik dengan unit sel FCC seperti pada umumnya paduan tembaga lainnya (Schumann, 1983).

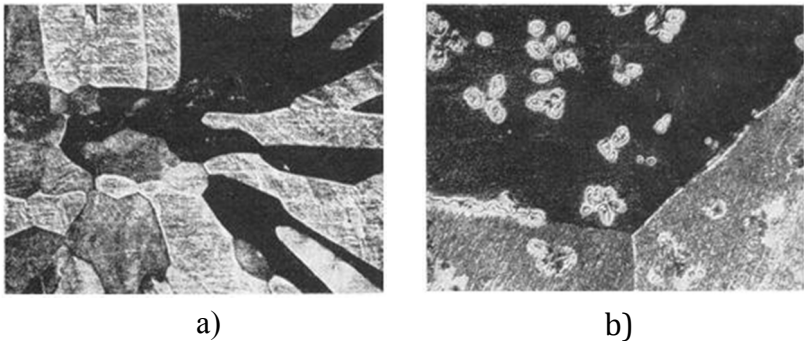
Pada proses pengecoran logam, pendinginan biasanya berlangsung sangat cepat karena energi cairan segera terserap oleh bahan cetakan. Pada keadaan ini terjadi segregasi kristal



dimana perbedaan konsentrasi didalam setiap butiran saat pertumbuhannya tidak sempat terseragamkan, maka pada struktur coran ini akan ditemukan dendrit-dendrit yang baru dapat dihilangkan setelah melalui proses pemanasan pada temperatur tinggi serta pendinginan yang lambat untuk menghasilkan butiran  $\alpha$  yang homogen dan polieder lengkap dengan struktur kembarnya (Brunhuber,1988).

Pada kuningan dengan kandungan Zn 47,5%, kristal  $\beta$  akan terbentuk terlebih dahulu pada temperatur 890 °C, fasa ganda ( $\beta$  + sisa cairan) hanya terdapat pada selang yang kecil sehingga segregasi praktis tidak terjadi. Segera, begitu temperatur mencapai 880 °C, cairan akan membeku seluruhnya sebagai kristal  $\beta$  yang homogen. Kuningan semacam ini disebut kuningan  $\beta$  (beta) dengan sifat-sifatnya yang keras, rapuh dan keternesinan rendah serta lebih banyak digunakan pada perangkat instrumen musik. Warna kuningan sangat dipengaruhi oleh kandungan Zn nya. Kuningan  $\alpha$  akan mengalami perubahan warna dari merah tembaga menjadi semakin kuning dengan bertambahnya Zn. Sedangkan akibat dari pembentukan kristal  $\beta$  yang kemerahan, maka pada kuningan  $\beta$  fenomena warna tersebut justru terbalik kembali menuju kemerahan. Struktur mikro kuningan 47,5% Zn ditunjukkan oleh Gambar 2.2.

Pada kuningan dengan fasa campuran  $\alpha/\beta$ , kandungan Zn digunakan untuk memperkirakan sifat-sifat mekanik bahan ini, mengingat kandungan Zn sangat menentukan persentasi fasa-fasa yang terdapat didalamnya, dimana pada kandungan sampai 39% ternyata struktur masih terdiri dari  $\alpha$  seluruhnya sedangkan setelah 46,5% struktur telah terdiri dari  $\beta$  seluruhnya.



**Gambar 2.2.** (a) Kuningan dengan 47,5% Zn pasca pegecoran (Kuningan  $\beta$  homogen); (b) Kuningan dengan 52% Zn pasca pengecoran (Kristal  $\gamma$  diantara struktur dasar  $\beta$ ) (Schumann, 1983)

## 2.5. Pengaruh Unsur Paduan

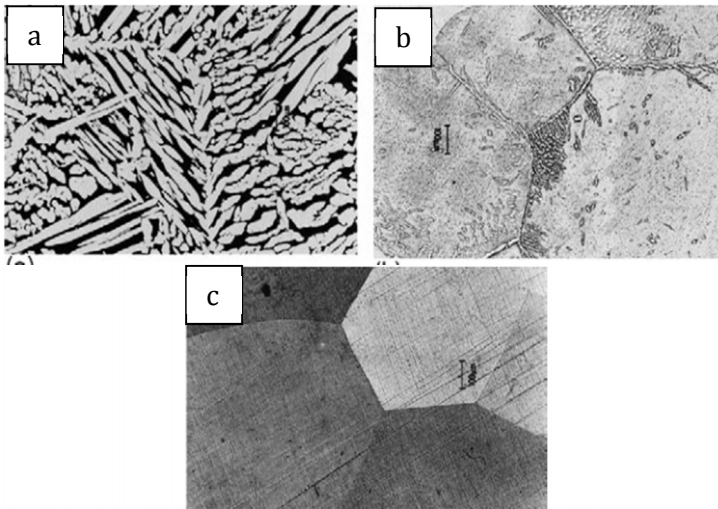
Secara khusus sifat-sifat mekanik kuningan dapat ditingkatkan dengan penambahan sejumlah kecil unsur paduan lainnya tanpa mengurangi karakteristik kuningan secara umum. Tambahan unsur paduan tersebut bertujuan untuk memodifikasi persentasi  $\alpha$  maupun  $\beta$  didalam strukturnya.

### 1. Aluminium (Al)

Aluminium dikenal sebagai promotor fase  $\beta$  dalam paduan Cu-Zn dan pengaruhnya lebih kuat 6 kali dari Zn. Dengan kata lain, 1 % Aluminium sama dengan 6 % seng. Matriks yang berisi banyak fase  $\beta$  ini memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Penambahan aluminium juga mereduksi ukuran butir, selain itu juga sebagai inokulan yang memperbanyak nukleasi butir. Selain itu aluminium juga mengubah struktur butir yang awalnya dendritik menjadi *equiaxed* (Sadayappan, 2004). Penambahan unsur paduan almunium yang banyak juga dapat menghasilkan *High Tensile Brass* yang kekuatan tarik dan kekerasannya setara dengan Aluminium Bronze dan biasanya digunakan untuk *landing gear* pada pesawat terbang. Unsur Al akan meningkatkan



kekerasan kristal campuran  $\alpha$  maupun  $\beta$ , sehingga dengan demikian akan secara umum meningkatkan kekuatan bahan. Selain itu unsur ini akan menggeser daerah  $\alpha$  pada diagram binernya menjadi lebih sempit sehingga pada kandungan Zn yang sama akan memiliki struktur  $\beta$  yang lebih banyak. Kandungan Al sampai dengan 6% atau 7% biasanya diaplikasikan pada pengecoran dengan pasir cetak, pengecoran cetak grafitasi maupun pengecoran sentrifugal. Aluminium juga meminimalisir penguapan seng yang terjadi ketika mendekati titik lebur paduan, yaitu dengan penambahan 0,15 sampai 0,35 % dimana disamping itu meningkatkan fluiditas dari logam cair. Namun semakin tinggi kadar aluminium maka memperbesar kemungkinan terjadinya penyusutan logam coran saat pembekuan, dimana diatasi dengan penggunaan *riser* (ASM Metal Handbook, 1998). Gambar 2.3 menunjukkan struktur mikro penambahan Al dalam paduan Cu-Zn.



**Gambar 2.3.** Pengaruh penambahan aluminium terhadap struktur mikro paduan Cu-Zn (Vilarinho, 2005)





## 2. Timah Hitam (Pb)

Timah hitam dapat larut dalam paduan kuningan hanya sampai 0,4% dan kebanyakan mengendap dalam batas butir dan didalam butir terdispersikan secara halus yang hal ini dapat memperbaiki machinability dan surface finish dan ketahanan terhaap korosi. Timah hitam dapat mengurangi ukuran butir dari kuningan, namun tidak mengubah morfologi dari struktur paduan kuningan. (Sadayappan, 2004).

## 3. Timah Putih (Sn)

Timah putih dapat memperbaiki ketahanan korosi dan sifat-sifat mekaniknya jika ditambahkan dalam daerah larut padat. Selain itu timah putih juga memperbaiki fluiditas. Timah putih merupakan logam berwarna putih mengkilap, sangat lembek dengan titik cair yang rendah yakni 232°C (Hadi, 2008). Karena memiliki titik lebur yang rendah, maka penambahan timah putih pada paduan kuningan dapat mengurangi tempratur lebur dari paduan walau tidak signifikan. Penambahan timah putih tidak mengubah ukuran butir pada paduan kuningan, namun dapat memperpendek waktu pendinginan pada *primary solidification* maupun *secondary soldification* (Sadayappan, 2004).

## 4. Besi (Fe)

Unsur paduan besi (Fe) dapat meningkatkan machinability, permukaan akhir, menghaluskan butir, meningkatkan kekerasan dan kuat tarik. Namun unsur ini menurunkan ketahanan korosi pada kuningan. Presipitasi besi saat paduan melebur menjadi penyebab terjadinya *grain refinement*. Namun *grain refinement* yang diakibatkan adanya besi ini terjadi dalam waktu yang cukup lama, yaitu kurang lebih 72 jam *holding time* atau setelah beberapa kali peleburan. Penambahan besi sebagai grain refainer untuk kuningan jenis *aluminium bronze* dan *manganese bronze*. (Sadayappan, 2004).

## 5. Seng (Zn)

Unsur paduan seng (Zn) meningkatkan kekuatan, kekerasan, machinability, dan surface finish. Namun unsur ini menurunkan keuletan dan ketahanan korosi. Seng (Zn) adalah logam yang



berwarna putih kebiruan memiliki titik cair yang rendah yaitu  $419^{\circ}\text{C}$  (Hadi, 2008).

#### 6. Mangan (Mn)

Mangan dengan jumlah yang cukup dan tergabung dengan penambahan nikel akan berperan dalam memainkan fungsi unsur nikel. Akan tetapi penggantian keseluruhan nikel oleh mangan akan menimbulkan ke tidak praktisan. Mangan dapat meningkatkan kekuatan, machinability, dan surface finish yang cukup baik. Mangan juga berfungsi sebagai deoksidator menghilangkan atau mengusir oksigen yang larut. Mangan mempunyai titik cair  $1260^{\circ}\text{C}$ . (Hadi, 2008). Unsur Mn umumnya disertakan pada paduan CuZn dengan kandungan Al maupun Fe tinggi. Unsur ini memiliki kemampuan larut relatif lebih baik dibandingkan dengan Fe, meningkatkan kekuatan bahan serta ketahanannya terhadap korosi.

#### 7. Nikel (Ni)

Nikel dengan jumlah yang cukup akan menyebabkan peningkatan sifat mekanis dan karakteristik fabrikasi. Nikel sangat efektif didalam mempromosikan pasivasi, khususnya dalam lingkungan yang merugikan. Unsur ini biasanya digunakan dalam lingkungan yang banyak menganung mineral asam. Unsur Ni larut sangat baik didalam paduan CuZn, sehingga dapat diberikan sebanyak 10% sampai 25%. Kuningan dengan paduan Ni sebanyak itu disebut dengan *new silver*, karena berwarna putih seperti perak. Bahan ini memiliki ketahanan korosi yang sangat baik serta banyak diaplikasikan di industri kimia maupun pangan sebagai bahan alternatif pengganti *stainless steel*.

#### 8. Silikon (Si)

Pada penambahan sedikit kadar silikon akan meningkatkan kekuatan kuningan dan ketahanan terhadap korosi, tetapi kadar silikon yang tinggi akan mengakibatkan kegetasan dan menyebabkan reaksi dengan oksigen. Unsur Si mempersempit daerah  $\alpha$  maupun juga  $\beta$  pada diagram paduan Cu-Zn, sehingga pada kandungan 4% saja, sudah akan menghasilkan struktur



campuran  $\alpha+\beta$  walaupun kandungan Cu masih sangat tinggi. Bahan ini memiliki ketahanan korosi yang baik termasuk terhadap air laut. Secara teknis bahan inipun memiliki kemampuan cor yang baik.

## **2.6. High Strength Brasses (Manganese Bronze)**

*High Strength Yellow Brasses* atau biasa disebut *Manganese Bronze* walaupun sesungguhnya bukan *bronze*, dan juga pengaruh mangan dalam paduan ini tidak terlalu signifikan terhadap struktur paduan. *High strength yellow brasses* merupakan jenis kuningan *yellow brass* (Cu-Zn) dengan menambahkan beberapa elemen pepaduan. Dengan menambahkan beberapa elemen tersebut membuat *yellow brass* ini mempunyai kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap korosi yang sangat baik sehingga dinamakan *high strength yellow brass*. *High strength yellow brasses* memiliki komposisi elemen lebih dari 17 % kandungan seng, lebih dari 2 % total kandungan dari aluminium, mangan, timah, nikel, dan besi. Kandungan timbal dibawah 0,5 %. Kandungan silikon dibawah 6 %. Namun lebih jelasnya *high strength yellow brasses* terbagi menjadi dua kelompok.

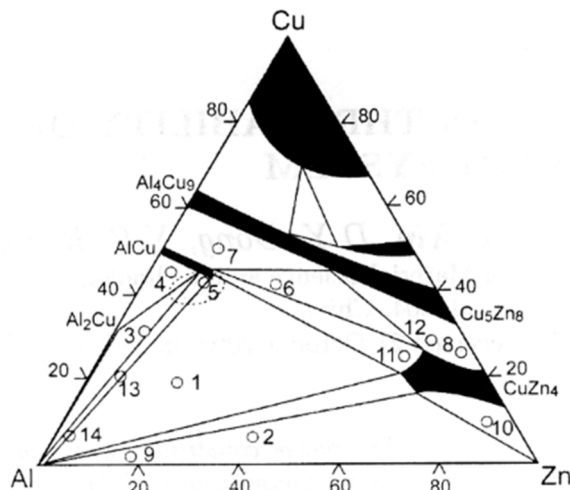
1. *Medium tensile strength* (ASTM B-147-63 paduan 8A) terdapat seng 35-40 %; total untuk penambahan Al, Mn, Fe tidak sampai 4 %; Sn dengan maksimal 1 %; Pb dengan maksimal 0,40 % ; dan tembaga menyesuaikan. Variasi Pb untuk (ASTM B-147-63 paduan 7A) sama seperti paduan 8A kecuali kandungan Pb sampai 0,5-1,5 % dan Sn maksimal 1,5 %.
2. *High tensile strength* (ASTM B-147-63 paduan 8B) dan 8C) dengan kandungan seng 20-30 %; total Al, Mn, Fe 10-15 %; Sn dan Pb maksimal 0,20 %; dan tembaga menyesuaikan.

Struktur mikro pada *high strength yellow brasses* sangat mirip dengan paduan tembaga-seng. Pada paduan ini terdapat struktur alfa-beta, dimana jumlah beta akan meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan seng. Elemen yang



ditambahkan ke dalam *high strength yellow brasses* memiliki pengaruh yang sama seperti dengan penambahan seng pada struktur mikro, kecuali nikel, dimana penambahan nikel memiliki pengaruh yang sama seperti menambahkan tembaga. Pengaruh yang diakibatkan pun bervariasi tergantung setiap elemen yang akan ditambahkan. Total dari efek penambahan elemen dikenal dengan *zinc equivalent*.

Elemen yang memiliki pengaruh paling tinggi dalam struktur mikro diantara elemen pemuat yang lain adalah aluminium. Pada *manganese bronze* biasa (*high strength yellow brass*) aluminium memiliki pengaruh hingga enam kali dari pengaruh seng. Pada *high tensile strength*, sejumlah aluminium berkombinasi dengan besi sehingga menghasilkan senyawa intermetalik, sehingga efek dari aluminium sendiri hanya sekitar 4-5 kali dari seng. Gambar 2.4. menunjukkan *ternary diagram* paduan Cu-Zn-Al.



**Gambar 2.4.** Ternary Diagram Cu-Zn-Al pada temperatur ruangan (MSIT, 2005)



Paduan ini juga harus dilebur secara cepat dan membawa ke tempratur dimana seng baru saja mulai terbakar. Pada *low tensile strength manganese bronze* tempratur leburnya sekitar 1010° C sedangkan untuk paduan *high tensile strength* tempraturnya mendekati sekitar 1066° C. *Overheating* sangat dihindari karena akan menyebabkan banyak *zinc losses* dimana akan mengubah komposisi dari paduan dan dapat mengubah sifat dari paduan tersebut. Untuk dapat mempertahankan *balance* yang sesuai antara tembaga dengan seng maka biasanya ditambahkan 0,5-1,5 % seng ke dalam paduan.

Tempratur penuangan biasanya merupakan fungsi dari jenis dan ukuran dari coran yang akan dituang. Tempratur penuangan berkisar pada 954-1121° C. Tempratur ideal untuk paduan ini hanya sedikit dibawah titik dimana seng akan terbakar.

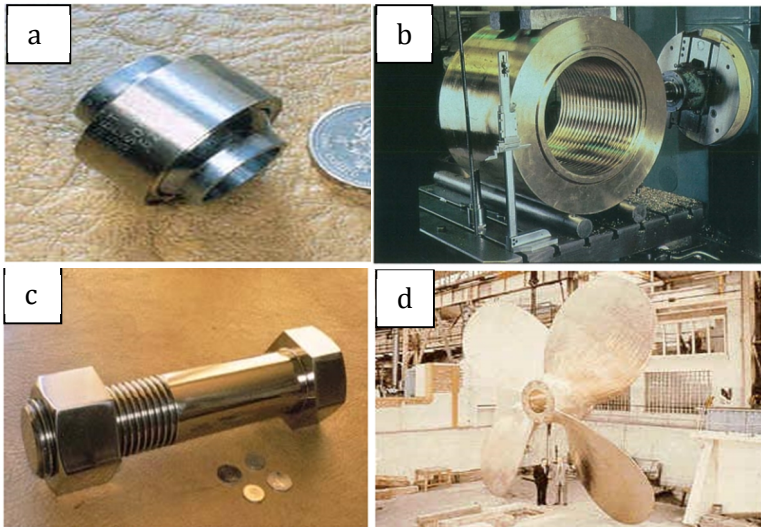
Keunggulan dari *high strength yellow brass* adalah ketahanan terhadap korosi yang tinggi dan memiliki kekuatan yang tinggi juga. Paduan ini juga sangat mudah untuk dicor (American Foundrymen's Society, 1965). Kehadiran aluminium dalam paduan ini menyebabkan penguapan yang terjadi terhadap seng akibat tempratur lebur paduan yang tinggi diminimalisir, serta kehadiran aluminium membuat fluiditas dari paduan ini meningkat (ASM Metal Handbook vol 2, 1992).

Kelemahan dari *high strength yellow brass* yaitu meskipun paduan ini mudah untuk dicor, namun karena karakteristik dari pembekuan paduan ini sangat mudah untuk terjadi porositas atau penyusutan sehingga diperlukan *gating* dan *risering* yang baik. Sifat mekanik yang maksimum dapat diperoleh dengan melakukan perlakuan panas (American Foundrymen's Society, 1965). Kecenderungan terbentuknya porositas atau penyusutan pada paduan ini sangat tinggi karena terdapat elemen aluminium (ASM Metal Handbook vol 2, 1998).

*High strength yellow brass* secara umum merupakan paduan jenis *yellow brass* yang memiliki struktur alfa-beta yang memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik sehingga banyak digunakan pada aplikasi di laut, dimana umumnya digunakan



sebagai propeller pada kapal. Pada struktur tunggal beta, high strength yellow brass mempunyai banyak aplikasi didalam pengecoran struktur, bantalan untuk beban yang berat seperti pada *rolling mill*, baut penahan, dll. Seperti ditunjukkan oleh gambar 2.5.



**Gambar 2.5.** Contoh aplikasi untuk *high strength yellow brass* pada (a) *rod bearing* pesawat (Copper Development Association, 1998), (b) *rolling mill*, (c) mur dan baut untuk aplikasi di laut, dan *propeller* pada kapal (Copper Development Association)

## 2.7. Pengecoran

Pengecoran adalah metode dasar dalam pembentukan logam. Pengecoran umumnya dilakukan dengan melelehkan logam kemudian lelehan logam dituang menuju cetakan tahan panas (*refractory mold*) dengan rongga menyerupai bentuk yang dibuat. Lelehan logam akan mengalami pembekuan dalam cetakan. Setelah membeku, benda hasil pengecoran dilepaskan dari cetakan. Proses pembekuan lelehan logam disebut *casting*. Proses ini juga disebut dengan *foundry*. Pengecoran adalah proses



fabrikasi dimana logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang memiliki bentuk. Selama proses solidifikasi. Logam akan membentuk sesuai dengan cetakan dan mengalami beberapa penyusutan. Teknik pengecoran dilakukan ketika (Callister, 2008):

1. Bentuk benda kerja sangat besar atau sangat kompleks yang sulit dibentuk dengan proses fabrikasi yang lainnya
2. Paduan yang memiliki keuletan yang rendah yang sulit dibentuk dengan metode *hot working* atau *cold working*
3. Dibandingkan dengan proses fabrikasi lainnya, pengecoran adalah metode yang paling ekonomis.

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensi pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda hasil pengecoran sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga-rongga, saluran-saluran, dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri. Hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/bangunan gedung, aksesoris, dan lain-lain (Sudjana, 2008).

## **2.8. Sand Casting**

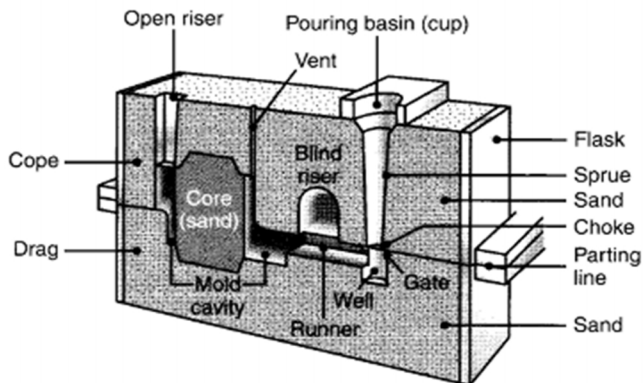
*Sand casting* adalah salah satu proses pengecoran dengan metoda menuangkan logam cair ke dalam cetakan pasir, cetakan pasir ini adalah rongga hasil pembentukan dengan mengikis berbagai bentuk benda pada bongkahan dari pasir, kemudian rongga tersebut diisi dengan logam cair (Sudjana, 2008).



Cetakan pasir untuk pembentukan benda cor lewat metoda pengecoran harus dibuat dengan lengkap sesuai dengan benda kerja yang diinginkan. Bagian bagian yang berada pada cetakan pasir ini meliputi (Sudjana, 2008) :

- Pola, adalah bentuk benda yang akan dibentuk dengan metode pengecoran dengan cetakan pasir, pola dibentuk dari kayu atau plastic yang nantinya akan dibentuk dalam bentuk rongga untuk dituangkan logam cair
- Inti, adalah bagian khusus yang mempunyai fungsi sebagai bingkai untuk melindungi struktur bentuk yang akan dibuat, dengan demikian ketebalan dinding lubang dan bentuk bentuk khusus tidak terjadi perubahan saat proses pengecoran
- Cope*, adalah bagian atas dari cetakan pasir
- Drag* adalah bagian bawah dari cetakan pasir
- Gate* adalah lubang terbuka tempat menuangkan logam cair ke dalam cetakan
- Riser* adalah lubang pengeluaran yang ada untuk mengalirkan logam cair yang berlebih

Skema cetakan pada proses *sand casting* ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



**Gambar 2.6.** Skema cetakan pasir (Kalpakjian, 2009)



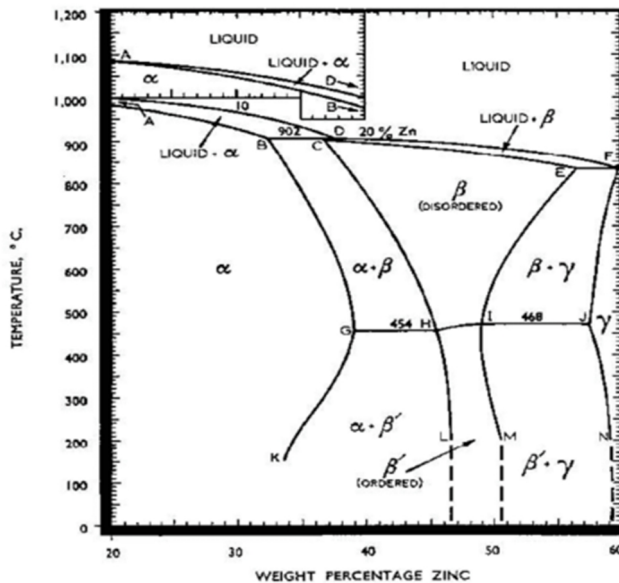


### **2.9. *Precipitation Hardening***

Pengerasan jenis ini secara umum terdiri dari dua perlakuan, yaitu *solution treatment* dan *aging*. Penguatan dengan metode ini dapat diaplikasikan pada paduan Cu agar kekerasannya meningkat. *Solution treatment* terdiri dari pemanasan paduan Cu pada temperatur di atas temperatur rekristalisasi (425-600°C) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7 (ASM Metal Handbook. 1992). Larutan padat yang terbentuk selama *solution treatment* harus didinginkan dengan cepat untuk mendapatkan kondisi optimum bagi pengendapan yang akan dilakukan sesudahnya. Proses ini biasanya dilakukan dengan pencelupan paduan ke dalam medium air pada suhu ruangan (Taufiq dan Korda, 2010).

Secara umum, dengan naiknya laju pendinginan kejut, kekuatan akan semakin meningkat. Saat waktu pendinginan semakin singkat, atom-atom unsur pepadu tidak sempat berdifusi ke matriks sehingga menyebabkan matriks dalam keadaan lewat jenuh (*oversaturated*). Semakin besar derajat kelewat jenuhan matriks, semakin besar pula laju pengintiannya (Porter dan Easterling. 1992).

Setelah melakukan *solution treatment*, pengerasan paduan dapat dicapai dengan dua cara, yaitu pada saat temperatur kamar (*natural aging*) atau dengan perlakuan panas presipitasi (*artificial aging*). Penuaan pada temperatur kamar akan memakan waktu yang lebih lama. Apabila penuaan dilakukan secara artificial, maka lamanya penuaan bergantung pada temperatur pemanasan. Semakin tinggi temperturnya, semakin singkat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kekuatan tertentu (Taufiq dan Korda. 2010).



**Gambar 2.7.** Diagram Fasa Cu-Zn (35-40wt% Zn) (ASM Metal Handbook. 1992)

## 2.10. *Propeller*

*Propeller* merupakan sekelompok sayap berputar yang dibentuk bengkok, yang ditujukan agar menciptakan arah dari resultan gaya angkat yang menuju ke depan. Pada umumnya propeller terdiri dari dua atau lebih baling yang dihubungkan ke *central hub* yang merupakan bagian dimana baling – baling kapal tersambung. Propeller berfungsi untuk mengubah gaya rotasi dari mesin menjadi gaya propulsif sebagai gaya dorong (*thrust*) untuk kapal. Proses pembuatan *propellar* dapat dilakukan dengan metode pengecoran dengan bahan dasar tembaga dan seng. Komposisi dari poros propeler adalah 60%Cu, 39,2%Zn, dan sekitar 0,8%Sn. Kuningan dengan komposisi ini disebut dengan *manganese bronze*. Sifatnya adalah memiliki *hot workability* dan



*forging ability* yang baik. Tabel 2.4 dan Gambar 2.8 menunjukkan *manganese-bronze propeller* beserta spesifikasinya.

**Tabel 2.4.** Standar spesifikasi *marine manganese bronze propeller* (propellerpages.com)

Sifat Mekanik	Nilai
<b>Yield</b>	27 – 33.000 psi
<b>Tensile</b>	60 – 72.000 psi
<b>% Elong in 2"</b>	20 - 35
<b>Brinell hardness</b>	14 – 16.000 psi
<b>Fatigue – air</b>	112 - 130
<b>Fatigue – salt water</b>	9 – 14.000 psi
<b>Density – lb/cu in</b>	9 – 12.5000 psi



**Gambar 2. 8.** *Manganese bronze propeller*

## 2.11. Penelitian Sebelumnya

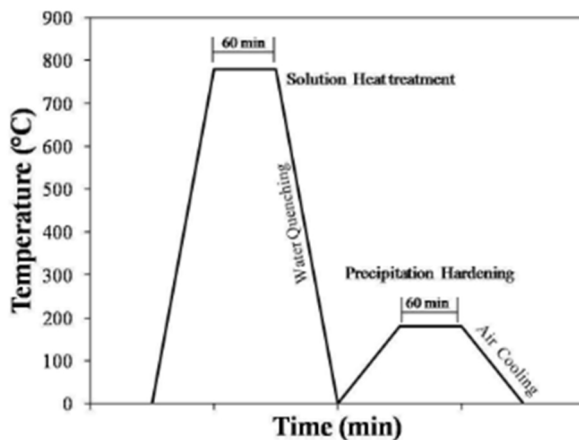
### a. *The Effect of Tin and Heat Treatment in Brass on Microstructure and Mechanical Properties for Solving the Cracking of Nut and Bolt*

Studi mengenai pengaruh penambahan unsur Sn dan perlakuan panas pada kuningan terhadap mikrostruktur dan sifat



mekanik untuk solusi retak pada mur dan baut dilakukan oleh Chuaiphan, dkk dengan penambahan 1% Sn dalam paduan 60% Cu+40% Zn.

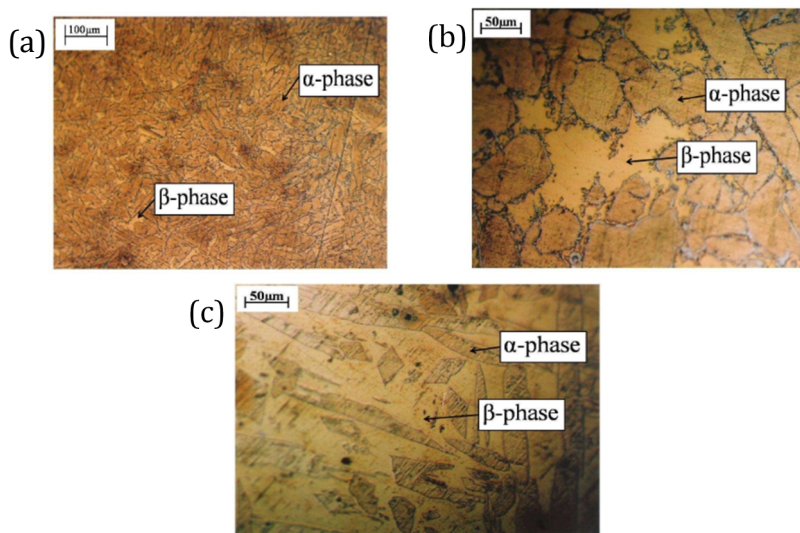
Material yang digunakan dibagi menjadi 3: (1) kuningan 60%+40%Zn, *commercial grade*; (2) 60%Cu+39%Zn+1%Sn kondisi setelah pengecoran; (3) 60%Cu+39%Zn+1%Sn kondisi *precipitation hardening*. Proses pertama tembaga dilelehkan pada temperatur 1100°C, kemudian menyiapkan 40% Zn untuk *commercial grade* dan 39%Zn, 1%Sn untuk kondisi pengecoran dan *precipitation hardening* yang ditambahkan kedalam *molten metal* lalu dituang kedalam cetakan pasir. Untuk spesimen *precipitation hardening*, dipanaskan sampai temperatur 780°C selama 1 jam lalu didinginkan cepat menggunakan media air (*solution treatment*). Langkah selanjutnya, spesimen dipanaskan lagi pada temperatur 180°C selama 1 jam kemudian didinginkan dengan media udara. Skema penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9.** Skema proses *precipitation hardening*  
(Chuaiphan, 2013)



Dari hasil pengamatan strukturmikro, pada kuningan 60%Cu+40%Zn *commercial brass*, diperoleh fasa duplex  $\alpha+\beta$ . Pada 60%Cu+39%Zn+1%Sn *non-precipitation hardening*, diperoleh fasa  $\alpha$  dan  $\beta$  seperti pada brass *commercial grade*, tetapi area pada fraksi fasa  $\beta$  lebih besar dibandingkan dengan fasa  $\alpha$  karena pengaruh penambahan unsur Sn. Pada 60%Cu+39%Zn+1%Sn dengan *precipitation hardening* didapatkan fasa yang sama dengan *non-precipitation hardening*, akan tetapi bentuk fasanya tidak sama. Fasa  $\alpha$  memiliki bentuk ramping dan fasa  $\beta$  memiliki bentuk panjang terdistribusi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10.



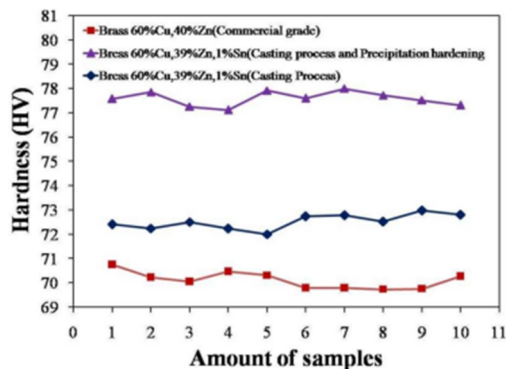
**Gambar 2.10.** Strukturmikro; a. 60%Cu,40%Zn (*commercial grade*); b. 60%Cu+39%Zn+1%Sn (*non- precipitation hardening*); c. *Precipitation hardening* (Chuaipan, 2013)

Pada sifat kekerasan, diperoleh bahwa kekerasan kuningan 60%Cu+39%Zn+1%Sn (*precipitation hardening*) dan brass

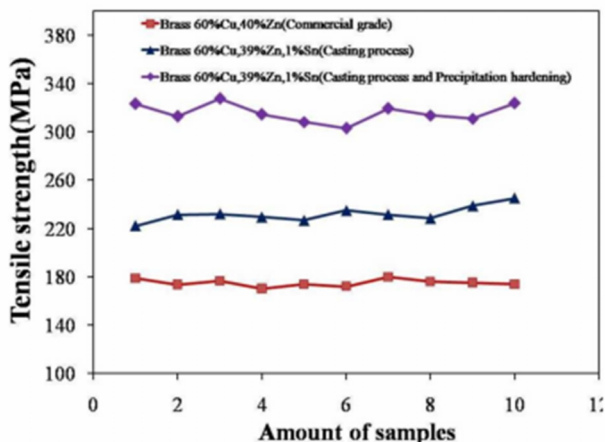


60%Cu+39%Zn+1%Sn (*non-precipitation hardening*) lebih tinggi daripada brass 60%Cu+40%Zn. Hal ini dikarenakan efek penambahan unsur Sn 1% pada paduan tembaga 60%Cu+39%Zn yang menyebabkan fasa  $\alpha$  berkurang sedangkan fasa  $\beta$  meningkat. Dengan meningkatnya fasa  $\beta$  maka kekerasan juga akan semakin meningkat. Pada sampel setelah proses *precipitation hardening*, kekerasan meningkat relatif tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Pada uji kekuatan tarik, Gambar 2.12. menunjukkan hasil pada sampel berbagai kondisi. *Ultimate tensile strength* (UTS) pada brass *precipitation hardening* lebih tinggi daripada kuningan tanpa *precipitation hardening* dan kuningan *commercial grade*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan unsur Sn pada paduan tembaga dapat meningkatkan fasa  $\beta$  yang mempengaruhi struktur dari ketahanan dislokasi kuningan. Pengaruh proses *precipitation hardening*, menyebabkan bentuk dari fasa  $\beta$  dan fasa  $\alpha$  menjadi lebih panjang dan ramping dengan mekanisme transformasi fasa. Dengan demikian, bentuk struktur mikro dapat mempengaruhi kemampuan deformasi paduan tembaga, dapat dikatakan material dengan kekuatan tarik yang tinggi.



**Gambar 2.11.** Perbandingan kekerasan sampel dalam berbagai kondisi (Chuaipan, 2013)



**Gambar 2.12.** Perbandingan kekuatan tarik sampel dalam berbagai kondisi (Chuaipan, 2013)

**b. Pengaruh Penambahan Aluminium (Al) Dan Penggunaan Chill Tembaga Pada Cetakan Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan Cu-Zn-Al Melalui Proses Pengecoran**

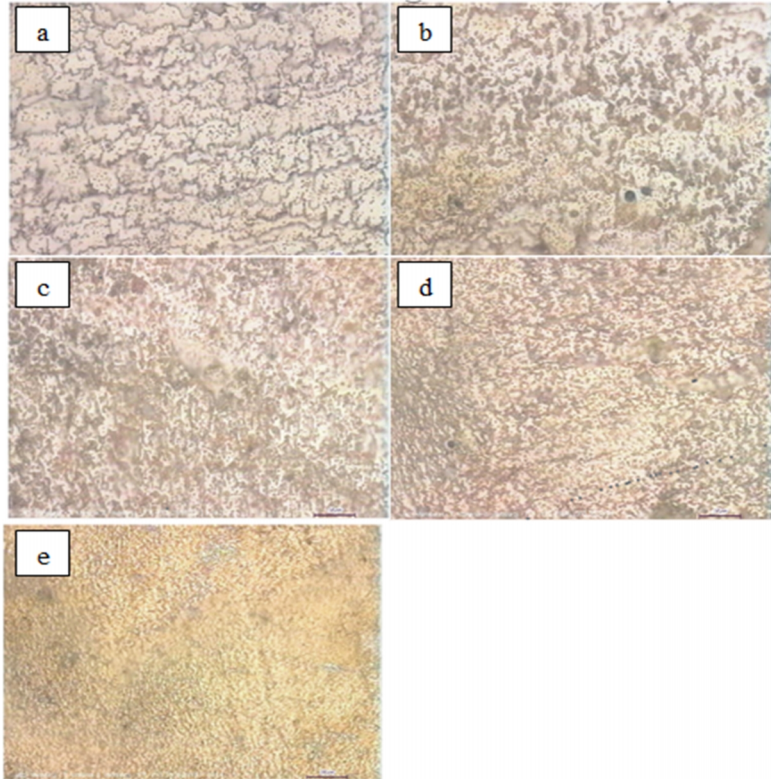
Paduan Cu-Zn-Al merupakan salah satu jenis kuningan yaitu *high strength yellow brasses* yang banyak digunakan pada bantalan, baut atau peralatan dengan aplikasi di laut seperti propeller pada kapal yang membutuhkan kekuatan tinggi dan ketahanan korosi yang tinggi. Shena dan Hosta (2014) melakukan penelitian untuk menganalisa pengaruh penambahan aluminium (Al) dan *chill* tembaga pada cetakan terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan impak paduan Cu-Zn-Al.

Pada penelitian ini dilakukan dengan komposisi Zn *balance* sebesar 17%wt dan penambahan aluminium (Al) dengan variasi 0,1,2,3,4 % Al untuk mengetahui pengaruhnya pada sifat mekanik dan struktur mikro pada proses pengecoran yang dilakukan pada cetakan tanpa *chill* dan cetakan dengan *chill*. Paduan ini dilebur





menggunakan furnace dengan temperatur  $1100^{\circ}\text{C}$  tanpa holding. Setelah dilebur logam cair dituang pada cetakan tanpa *chill* dan *chill*. Spesimen kemudian dietsa dalam larutan 5 gr  $\text{FeCl}_3$ , 15 ml  $\text{HCl}$  dan 100 ml *distilled water*.



**Gambar 2.13.** Struktur mikro paduan (a) Cu-Zn, (b) Cu-Zn-1Al, (c) Cu-Zn-2Al, (d) Cu-Zn-3Al, dan (e) Cu-Zn-4Al tanpa *chill*, dengan perbesaran 1000x

Gambar 2.13. menunjukkan strukturmikro paduan Cu-Zn-Al tanpa *chill*. Pada Gambar 2.13 ini dapat dilihat bahwa seiring penambahan komposisi aluminium, struktur mikro yang terbentuk



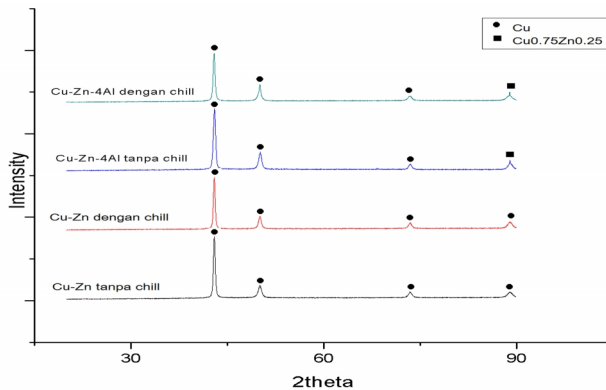


semakin halus dengan butiran yang semakin kecil dan banyak. Penambahan aluminium pada kuningan memperkecil ukuran butir. Aluminium juga berperan sebagai inokulan, yang membuat nukleasi lebih banyak. Dengan mereduksi ukuran butir dan memperbanyak nukleasi dan memperkecil ukuran butir, penambahan aluminium mampu meningkatkan kekerasan seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.5.

**Tabel 2.5.** Kekerasan paduan Cu-Zn-Al (Shena, 2014)

Paduan	Kekerasan rata-rata (HRB)	
	Tanpa <i>Chill</i>	<i>Chill</i>
Cu-Zn	13	14.5
Cu-Zn-1Al	17.6	21.8
Cu-Zn-2Al	22.94	24.3
Cu-Zn-3Al	25.2	26.9
Cu-Zn-4Al	33.6	35.08

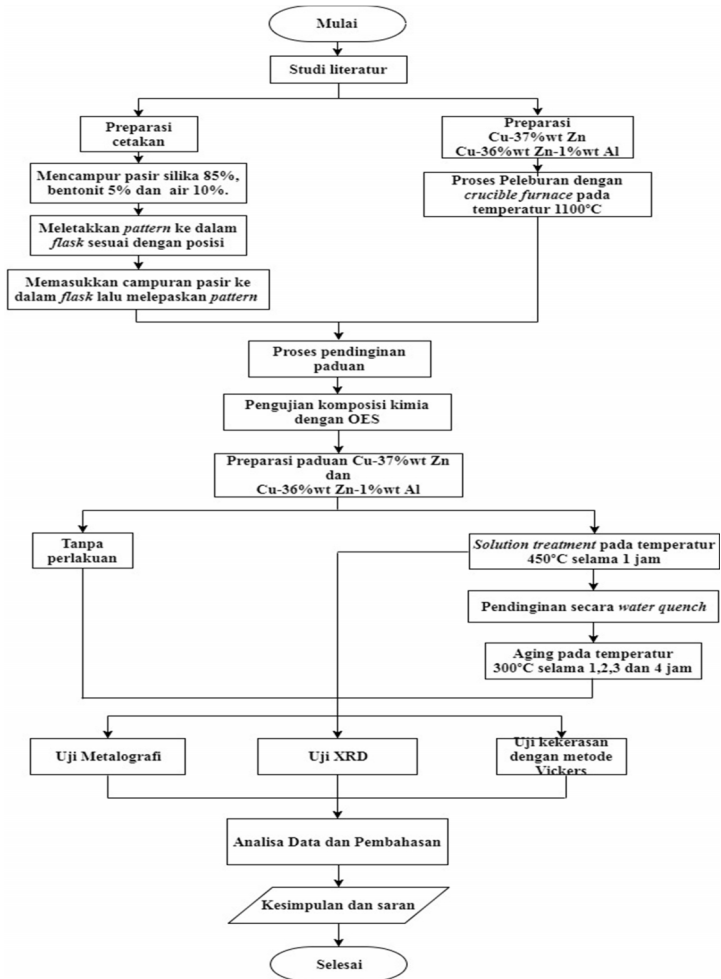
Pada Gambar 2.14 menunjukkan pola hasil XRD paduan Cu-Zn-Al. Fasa yang terbentuk adalah fasa Cu dan fasa Cu<sub>0.75</sub>Zn<sub>0.25</sub>.



**Gambar 2.14.** Pola XRD paduan Cu-Zn-Al (Shena, 2014)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian



Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Pertama, dilakukan studi literatur terkait penelitian, lalu mempersiapkan cetakan pasir dan bahan yaitu Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al. Setelah itu proses peleburan bahan menggunakan *crucible furnace* lalu didinginkan. Setelah itu dilakukan pengujian komposisi kimia dengan OES untuk menentukan komposisi kimia paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al. Kemudian dilakukan proses *precipitation hardening* yang terdiri dari *solution treatment* dan *aging*. Setelah proses *aging* selesai, dilakukan pengujian yang meliputi, uji kekerasan, uji XRD, uji metalografi. Selanjutnya dilakukan analisa data dan pembahasan terhadap data hasil uji. Proses terakhir adalah mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

### 3.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Tembaga

Tembaga yang digunakan pada penelitian ini memiliki kandungan >99% dalam bentuk *rod* didapatkan dari PT. Sutindo, Surabaya. Ditunjukkan oleh Gambar 3.2



**Gambar 3.2.** Tembaga (Cu)

2. Zinc

Zinc digunakan sebagai paduan Cu dengan metode pengecoran. Zinc yang digunakan sebagai bahan campuran pada penelitian ini dengan kandungan Zn



>99% didapatkan dari CV. Artha Makmur Jaya, Surabaya. Ditunjukkan oleh Gambar 3.3



**Gambar 3.3.** Anoda Zn

3. Aluminium

Aluminium (Al) dalam bentuk batang dengan kadar >97% didapatkan dari PT. Inalum, Medan. Aluminium digunakan sebagai logam paduan. Ditunjukkan oleh Gambar 3.4



**Gambar 3.4** Aluminium (Al)

4. Air

Digunakan untuk proses *quenching*

5. Bahan Etsa

Bahan etsa yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9.

- 100 mL *distilled water*
- 5 gr  $\text{FeCl}_3$
- 50 mL HCl



### 3.3. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

#### 1. *Crucible Furnace*

*Furnace* yang digunakan untuk melelehkan dan memadukan bahan merupakan tungku bakar (*burner*). Ditunjukkan oleh Gambar 3.5



**Gambar 3.5.** Tungku bakar (*burner*)

#### 2. *Crucible grafit*

Digunakan sebagai wadah untuk proses peleburan. Krusibel yang digunakan memiliki ukuran A3 dan terbuat dari *insulating brick* tipe C-1 dibeli dari U.D Kampung Dukuh, Surabaya. Ditunjukkan oleh Gambar 3.6



**Gambar 3.6.** Krusibel Grafit



3. *Muffle Furnace*

*Muffle furnace* digunakan untuk proses *solution treatment* dan *aging*. Ditunjukkan oleh Gambar 3.7



**Gambar 3.7.** *Muffle Furnace*

4. Kikir

Kikir yang digunakan adalah milik Lab. Teknik Material dan Metalurgi ITS. Kikir digunakan untuk meratakan permukaan spesimen.

5. Gelas Ukur 250 ml

Alat ini digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa.

6. Timbangan digital

Digunakan untuk mengukur massa bahan lebur. Ditunjukkan oleh Gambar 3.8



**Gambar 3.8** Timbangan Digital



7. Kertas Amplas  
Digunakan untuk grinding spesimen pada uji metalografi.  
Digunakan kertas amplas *silicon carbide grade 80* hingga 2000
8. Gergaji  
Digunakan untuk memotong bahan lebur dan hasil coran.  
Ditunjukkan oleh Gambar 3.9



**Gambar 3.9** Gergaji Tangan

9. Alat Uji Kekerasan *Universal*  
Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan spesimen.
10. OES (*Optical Emission Spectroscope*)  
Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia benda hasil coran
11. XRD  
Alat ini digunakan untuk mengetahui system Kristal, struktur Kristal serta fasa dari hasil coran
12. Mesin *Grinding & Polishing*  
Alat ini digunakan dalam proses grinding serta polishing spesimen dalam uji metalografi.
13. Mikroskop Optik Metalurgi  
Alat ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro spesimen.

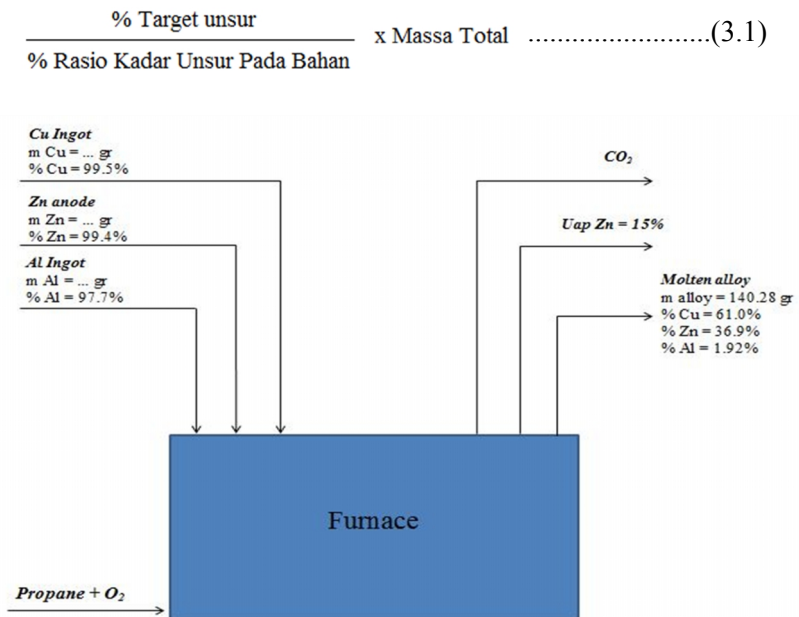


### 3.4. Prosedur Percobaan

#### 3.4.1. Prosedur Pengecoran

##### 1. Perhitungan *Material Balance*

Sebelum melakukan eksperimen, preparasi sampel dilakukan dengan cara menghitung massa tiap – tiap bahan lebur untuk mendapatkan komposisi hasil coran yang diinginkan. Perhitungan massa bahan lebur pada penelitian kali ini menggunakan prinsip *material balance*. Perhitungan *material balance* menggunakan Persamaan 3.1. Skema peleburan ditunjukkan pada Gambar 3.10 dan % komposisi serta massa *raw material* yang digunakan dalam proses peleburan ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan 3.2.



**Gambar 3.10.** *Material balance* proses pengecoran Cu-36Zn-1Al



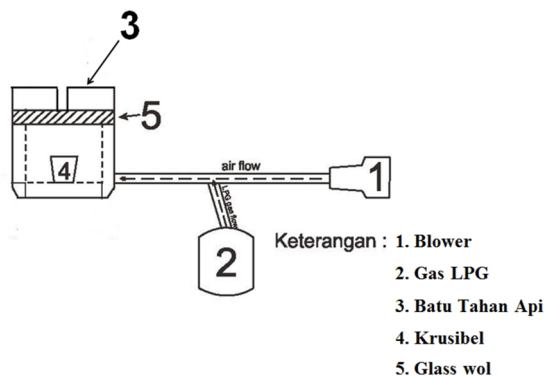

**Tabel 3.1.** % komposisi *raw material* dan *loss* selama peleburan

<i>Raw material</i>	% Cu	% Zn	% Al	% <i>Loss</i>
<i>Cu ingot</i>	99.5	-	-	-
<i>Zn anode</i>	-	99.4	-	15
<i>Al ingot</i>	-	-	97.7	-

**Tabel 3.2.** Komposisi *raw material input*

Paduan	Cu (gr)	Zn (gr)	Al (gr)
Cu-37Zn	96.11	77.8	-
Cu-36Zn-1Al	96.11	76.27	1.64

Setelah proses penghitungan jumlah bahan lebur, *raw material* kemudian diletakkan pada krusibel. Langkah selanjutnya yaitu melakukan peleburan Cu yang telah diletakkan dalam krusibel menggunakan *crucible furnace* sampai temperatur 1100°C seperti ditunjukkan pada Gambar 3.11.


**Gambar 3.11.** Skema peleburan dengan *crucible furnace*

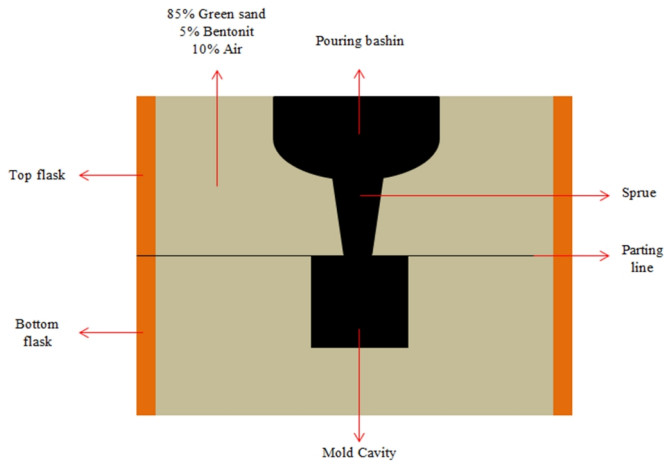
### BAB III METODOLOGI PENELITIAN



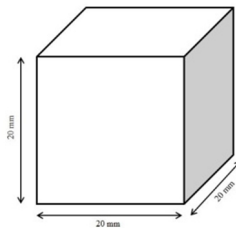
Setelah Cu mencair, zinc dan aluminium dimasukkan kedalam krusibel dan diaduk sampai paduan menjadi homogen. Paduan Cu-Zn yang telah selesai dilebur dituang kedalam cetakan pasir yang telah dipreparasi sebelumnya dan dibiarkan hingga membeku selama  $\pm 1$  jam. Setelah membeku seluruhnya hasil pengecoran diambil dengan menghancurkan cetakan pasir. Metode pembuatan spesimen uji dilakukan dengan memotong benda hasil coran menggunakan gergaji sesuai bentuk yang diinginkan.

#### **3.4.2. Preparasi Cetakan**

Cetakan yang digunakan dalam penelitian terbuat dari pasir silika dan *bentonite* sebagai perekat. Pertama menyiapkan pasir silika, *bentonite*, dan air. Selanjutnya menimbang pasir silika dan *bentonite* dengan komposisi 85% pasir silika dan 5-8% *bentonite*. Kemudian memasukan pasir silika dan *bentonite* ke dalam wadah dan mengaduknya secara merata dengan menambahkan air secara bertahap. Lalu menyiapkan *flask* dan pola benda. Terakhir membuat cetakan sesuai kebutuhan. Cetakan pasir ditunjukkan oleh Gambar 3.12. Gambar 3.13. menunjukkan bentuk spesimen dari hasil cetakan pasir.



**Gambar 3.12.** Cetakan pasir pada proses pengecoran



**Gambar 3.13.** Rancangan bentuk spesimen hasil cetakan

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

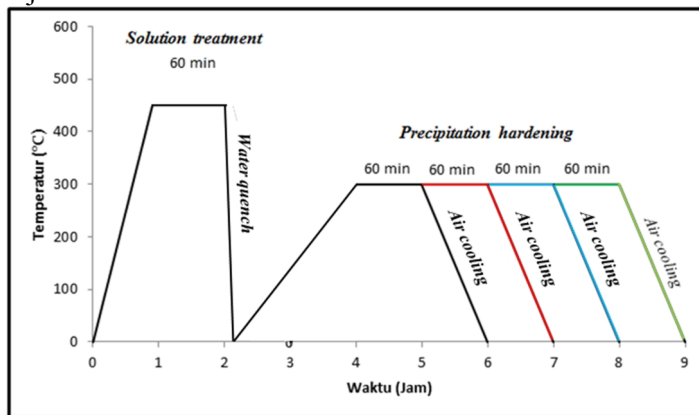


### 3.4.3. Solution Treatment

Proses *solution treatment* pada penelitian ini dilakukan untuk terbentuk fasa  $\alpha$ -tunggal pada paduan Cu-36Zn-1Al. Sampel dipanaskan sampai temperatur 450°C, kemudian didinginkan cepat dengan menggunakan media air. Skematis diagram proses *precipitation hardening* ditunjukkan pada gambar 3.4.

### 3.4.4. Aging

*Aging* dilakukan untuk memunculkan presipitat dari fasa  $\beta$  didalam fasa  $\alpha$  sehingga mempengaruhi strukturmikro dan kekerasan dari paduan Cu-36Zn-1Al. Temperatur aging yang digunakan pada penelitian ini adalah 300°C dengan variasi waktu tahan 1,2,3 dan 4 jam. Skema proses *precipitation hardening* ditunjukkan oleh Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Skema diagram proses *precipitation hardening* selama penelitian

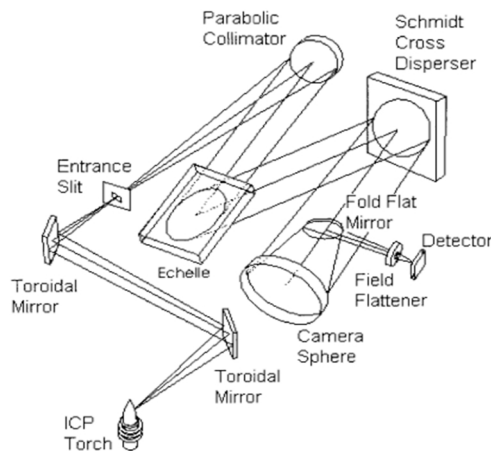
## 3.5. Proses Pengujian

Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian komposisi dengan OES, pengujian metalografi untuk melihat struktur mikro. *Hardness test* untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk.



### 3.5.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*, adalah pengujian dengan menembakkan elektron pada bidang datar spesimen sehingga memantulkan gelombang cahaya yang unik yang dapat ditangkap oleh *receiver* dan sensor yang kemudian dicocokkan dengan database yang ada. Mekanisme OES seperti pada Gambar 3.15. OES dapat mengetahui berbagai unsur tergantung dari database yang tersedia. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Dimensi spesimen yang dibutuhkan untuk proses pengujian menggunakan OES yaitu lebar, panjang, dan ketebalan berturut-turut 1.5 cm, 1.5 cm, dan 0.5 cm.



**Gambar 3.15.** Prinsip pengujian OES (Boss, 2004)

### 3.5.2 Pengujian Struktru Mikro

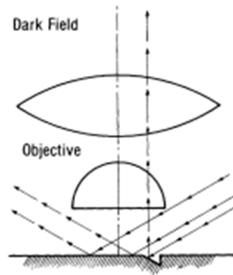
Metalografi adalah suatu metode pengujian untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**



mikroskop. Gambar 3.16. menunjukkan alur sinar datang pada pemngamatan Metalografi.

Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan strukturmikro. Pengujian menggunakan Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF larutan etsa yang digunakan sesuai dengan ASM Metal Handbook Vol 9 untuk *copper* dan *copper alloys*.



**Gambar 3.16.** Alur sinar pada pengamatan metalografi  
(Kaufmann, 2003)

### 3.5.3 Pegujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan sebuah material terhadap indentasi dan goresan. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan ASTM E92 dengan menggunakan metode vickers. Alat yang digunakan adalah *Universal Hardness Tester* HBRV-187.5A (lihat Gambar 3.7) di Laboratorium Metalurgi Teknik Material dan Metalurgi ITS. Beban yang diberikan sebesar 100 kgf dan waktu pembebanan selama 10 s. Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3 kali indentasi. Gambar 3.17. menunjukkan Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A.



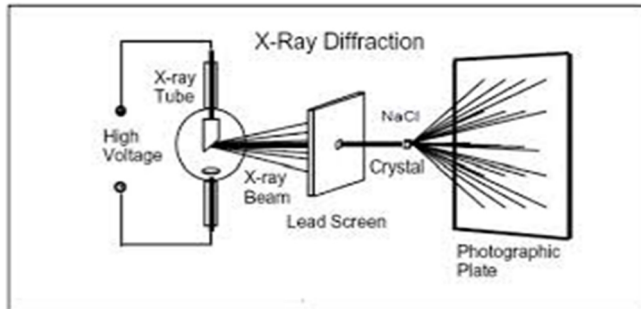
**Gambar 3.17.** Mesin Universal Hardness Tester HBRV - 187.5A

### **3.5.4 Pengujian Fasa**

Pengujian fasa dilakukan dengan menggunakan XRD. Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Cu-Zn yang sudah terbentuk selama proses melting. Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD). Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Gambar 3.18 menunjukkan prinsip kerja pengujian XRD. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan mesin PAN Analytical XRD. Sampel yang digunakan untuk pengujian XRD ini harus memiliki ketinggian tidak lebih dari 4 mm.

---

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**



**Gambar 3.18.** Prinsip kerja XRD (Kaufmann, 2003)

### 3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian pada Tabel 3.3 dibuat agar penelitian dapat berjalan secara sistematis.

**Table 3.3.** Rancangan penelitian

Material	Waktu tahan (jam)	Uji Kekerasan	Uji Metalografi	XRD	OES
Cu-37Zn <i>as-cast</i>	-	v	v	v	v
Cu-37Zn ( <i>precipitation hardening</i> )	0	v	v	v	-
	1				
	2				
	3				
Cu-36Zn-1Al <i>as-cast</i>	-	v	v	v	v
Cu-36Zn-1Al ( <i>precipitation hardening</i> )	0	v	v	v	-
	1				
	2				
	3				
	4				





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB IV**

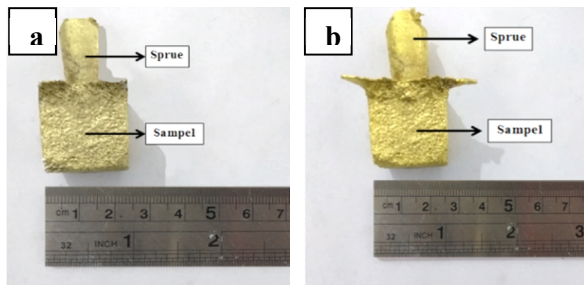
### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Hasil Pengecoran Paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al**

Pada penelitian ini, proses pengecoran menggunakan bahan baku tembaga dengan kadar kemurnian 99,5%, Zn yang berbentuk *zinc anode* dengan kadar kemurnian 99,4% dan aluminium dengan kadar kemurnian 99,7%. Paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-Al dihasilkan melalui proses peleburan di dalam krusibel *furnace* dengan krusibel SiC. *Raw material* paduan dipanaskan di dalam krusibel *furnace* selama  $\pm 35$  menit hingga logam meleleh pada temperatur 1100°C. Setelah paduan meleleh secara sempurna, paduan cair diaduk menggunakan batang *stainless steel* agar komposisinya tercampur secara merata. Setelah diaduk, paduan cair dituang kedalam cetakan pasir. Setelah proses pengecoran didapatkan hasil coran paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-Al seperti pada Gambar 4.1. Gambar 4.1 (a) adalah paduan Cu dengan penambahan Zn 37%wt. Paduan Cu-37Zn berwarna kuning gelap dan memiliki cekungan pada bagian tengah. Gambar 4.1 (b) adalah paduan Cu dengan penambahan Zn 36%wt dan aluminium 1%wt. Paduan Cu-36Zn-1Al berwarna kuning terang dan memiliki cekungan pada bagian tengah. Tembaga murni memiliki warna coklat kemerahan, namun dengan penambahan Zn pada paduan Cu-37Zn warna berubah menjadi kuning kecoklatan. Penambahan Zn menghasilkan warna kuning pada kuningan (Skočovský, 2000). Paduan Cu-36Zn-1Al dengan penambahan aluminium kembali berubah warna, menjadi kuning keemasan yang semakin terang seiring meningkatnya kadar komposisi aluminium. Hasil pengecoran paduan memperlihatkan permukaan yang kasar, ini disebabkan cetakan pasir yang digunakan tidak dipadatkan secara baik sehingga terdapat rongga. Proses solidifikasi dan pendinginan paduan terjadi di dalam cetakan. Hasil paduan yang telah mengalami pendinginan dalam cetakan mempunyai cekungan pada bagian tengah. Hal ini dapat terjadi karena proses pembekuan logam cari



berawal dari bagian tepi yang bersentuhan langsung dengan dinding cetakan pasir sehingga pada bagian tepi mengalami proses pembekuan lebih cepat. Pembekuan pada lelehan bagian tepi menyebabkan penyusutan molten metal yang berakhir di bagian tengah hasil coran dan menyebabkan adanya cekungan (*shrinkage*).



**Gambar 4.1** Hasil coran paduan (a) Cu-37Zn, (b) Cu-36Zn-1Al

#### 4.2. Komposisi Kimia Paduan Cu-37Zn

Pengujian spektroskopi dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur penyusun hasil coran paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-Al dan membandingkan antara komposisi rancangan yang dilakukan sebelum proses pengecoran dengan komposisi unsur-unsur penyusun hasil coran paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-Al setelah proses pengecoran. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian komposisi kimia paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al.

**Tabel 4.1.** Komposisi kimia paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al

Material	Komposisi Kimia Rancangan							Komposisi Kimia Hasil Pengecoran							Zn Loss (gr)	Zn Loss (%wt)
	Cu		Zn		Al		Massa total (gr)	Cu		Zn		Al		Massa Total (gr)		
	gr	%wt	gr	%wt	gr	%wt		gr	%wt	gr	%wt	gr	%wt			
Cu-37Zn	96,11	63	76,27	50	-	-	172,38	83,1	63,7	46	36	-	-	129,12	30,27	14
Cu-36Zn-1Al	96,11	63	76,27	50	1,54	1	173,92	82,8	61	50,09	36,9	-	1,92	134,4	26,18	13,1

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Paduan Cu-37Zn memiliki rancangan massa total 172,38 gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 96,11 gr dengan 63%wt dan Zn sebesar 76,27 gr dengan 50%wt. Hasil pengecoran paduan Cu-37Zn memiliki massa total 129,12 gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 83,1 gr dengan 63,7 %wt dan Zn sebesar 46 gr dengan 36%wt. Selama proses pengecoran terjadi pengurangan komposisi Zn sebesar 30,27 gr. Pada paduan Cu-36Zn-1Al memiliki rancangan massa total 173,92 gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 96,11 gr dengan 63%wt, Zn sebesar 76,27 gr dengan 50%wt dan Al sebesar 1,54 gr dengan 1%wt.. Hasil pengecoran paduan Cu-36Zn-1Al memiliki massa total 134,4 gr. Paduan tersebut memiliki komposisi Cu sebesar 82,8 gr dengan 61 %wt, Zn sebesar 50,09 gr dengan 36,9%wt dan Al sebesar 1,92%wt. Selama proses pengecoran terjadi pengurangan komposisi Zn sebesar 26,18 gr. Presentase unsur yang mengalami perubahan adalah presentase unsur Zn. Perbedaan presentase Zn ini disebabkan karena Zn yang menguap saat peleburan paduan. Temperatur didih Zn adalah  $906^{\circ}\text{C}$ , sedangkan temperatur lebur dari paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al adalah  $1100^{\circ}\text{C}$ . Untuk mengatasi Zn yang mudah menguap tersebut telah ditambahkan sebanyak 14wt% Zn untuk setiap komposisi paduan. Namun, karena temperatur peleburan yang sulit dikontrol dan furnace yang tidak vakum sehingga penguapan Zn tetap tidak dapat dikontrol. Selama peleburan kuningan, Zn menguap sehingga perlu ditambahkan Zn tambahan selama peleburan (American Foundrymen's Society, 1965). Unsur tembaga dan aluminium juga mengalami perbedaan namun tidak terlalu besar. Komposisi aluminium meningkat sekitar 0,9%wt disebabkan karena *loss* dari Zn yang besar. Aluminium dan tembaga tidak hilang menguap seperti Zn, dikarenakan aluminium memiliki temperatur didih yang tinggi yaitu  $2470^{\circ}\text{C}$  dan tembaga  $2.562^{\circ}\text{C}$ .



### 4.3. Pengamatan Hasil *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD dilakukan pada paduan Cu-37Zn dan Cu-37Zn-Al kondisi *as-cast*, *solution treatment*, dan *aging*. Pengukuran difraksi sinar-X dilakukan dengan rentang sudut  $10^\circ$  -  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang Cu-K $\alpha$  1.54060 Å. Dari hasil XRD diperoleh *peak-peak* dengan intensitas tertentu. *Peak-peak* yang memiliki intensitas tertinggi dicocokkan dengan kartu PDF untuk mengetahui fasa atau senyawa yang terbentuk pada material uji.

#### 4.3.1. Paduan Cu-37Zn

Pada paduan Cu-37Zn terdapat beberapa *peak* dengan intensitas tertinggi dimana terdapat dua fasa yang terlihat pada pengujian XRD ini yaitu fasa  $\alpha$  (Cu<sub>0,64</sub>Zn<sub>0,36</sub>) dan fasa  $\beta$  (CuZn). Pada paduan Cu-37Zn *as-cast*, terdapat *peak* dengan intensitas tertinggi pada  $2\theta = 42.2955^\circ$ ,  $49.1308^\circ$ ,  $72.1696^\circ$  dan  $87.4965^\circ$ , *peak* tersebut memiliki kesesuaian dengan kartu PDF 00-050-1333 yang merupakan milik fasa  $\alpha$ . Pada  $2\theta = 43.2747^\circ$ , terdapat *peak* untuk fasa  $\beta$ . *Peak* tersebut bersesuaian dengan PDF 00-002-1231 yang merupakan milik CuZn. Hasil XRD dari sampel Cu-37Zn *solution treatment* memiliki intensitas tertinggi pada  $2\theta = 42.2357^\circ$ , memiliki kesesuaian dengan kartu PDF 00-050-1333 yang merupakan milik Cu<sub>0,64</sub>Zn<sub>0,36</sub>. Intensitas tertinggi kedua dan ketiga pada  $2\theta = 49.1727^\circ$  dan  $87.5223^\circ$  juga bersesuaian dengan puncak milik  $\alpha$ . Tetapi, pada hasil XRD sampel *solution treatment* terdapat *peak* yang merupakan milik CuZn pada  $2\theta = 43.2763^\circ$ . Munculnya fasa  $\beta$  disebabkan oleh kurang lamanya waktu tahan pada saat proses *solution treatment* sehingga menyebabkan fasa  $\beta$  belum terlarut secara sempurna menjadi fasa  $\alpha$ .

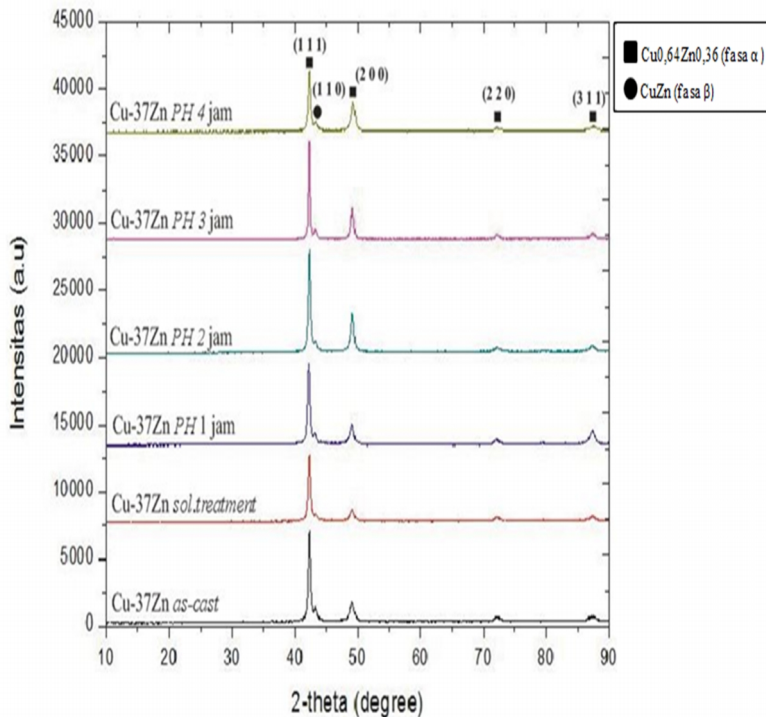
Pada paduan Cu-37Zn *precipitation hardening*, hasil XRD menunjukkan bahwa pada keempat variabel waktu *aging* memiliki fasa  $\alpha$  dan  $\beta$ , tetapi dengan intensitas yg tidak berbeda jauh. Pada paduan Cu-37Zn dengan waktu *aging* 1 jam *peak* terdapat pada  $2\theta = 42.2720^\circ$ ,  $49.1265^\circ$ ,  $72.0610^\circ$ ,  $87.4656^\circ$

---

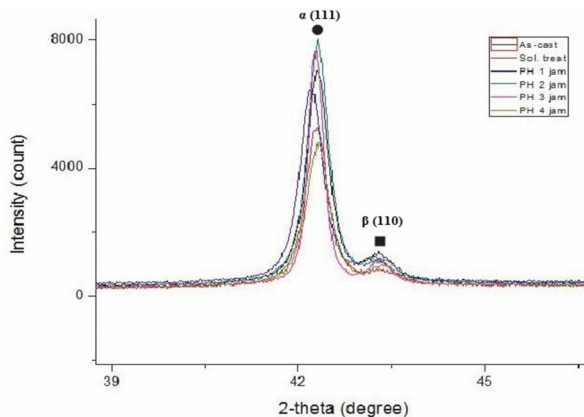
## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



dengan fasa  $\alpha$  dan pada  $2\theta = 43.1990^\circ$  memiliki fasa  $\beta$ . Pada paduan Cu-37Zn dengan waktu *aging* 2 jam, *peak* terdapat pada  $2\theta = 42.3018^\circ, 49.3130^\circ, 72.1148^\circ, 87.3847^\circ$  dengan fasa  $\alpha$  dan pada  $2\theta = 43.4881^\circ$  memiliki fasa  $\beta$ . Pada paduan Cu-37Zn dengan waktu *aging* 3 jam, *peak* terdapat pada  $2\theta = 42.2538^\circ, 49.0709^\circ, 72.1588^\circ, 87.3632^\circ$  dengan fasa  $\alpha$  dan pada  $2\theta = 43.2369^\circ$  dengan fasa  $\beta$ . Pada paduan Cu-37Zn dengan waktu *aging* 4 jam, *peak* terdapat pada  $2\theta = 42.3251^\circ, 49.2756^\circ, 72.3296^\circ, 87.5162^\circ$  dengan fasa  $\alpha$  dan pada  $2\theta = 43.4261^\circ$  dengan fasa  $\beta$ . Grafik hasil pengujian XRD paduan Cu-37Zn dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3.



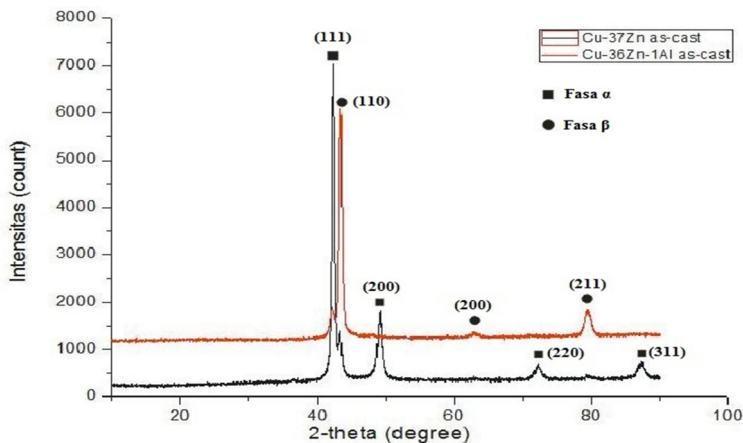
**Gambar 4.2.** Pola XRD paduan Cu-37Zn dalam berbagai kondisi



**Gambar 4.3.** Pola XRD paduan Cu-37Zn dalam berbagai kondisi

#### 4.3.2. Paduan Cu-36Zn-1Al

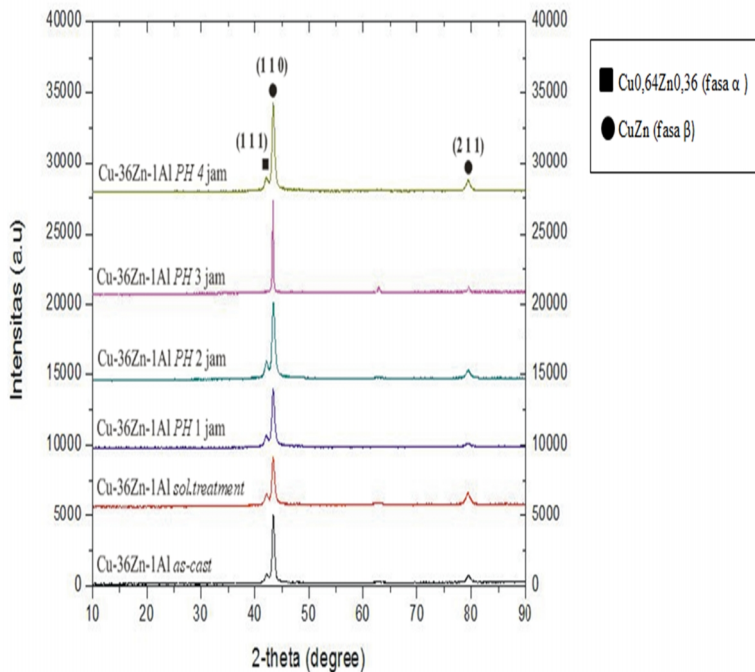
Pada paduan Cu-36Zn-1Al fasa yang terbentuk sama dengan paduan Cu-37Zn yaitu fasa  $\alpha$  ( $\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$ ) dan fasa  $\beta$  (CuZn). Tetapi, pada paduan ini menunjukkan hasil yang berkebalikan dengan paduan Cu-37Zn dimana fasa  $\beta$  lebih dominan seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



**Gambar 4.4.** Perbandingan pola XRD paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al



Grafik hasil pengujian XRD paduan Cu-36Zn-1Al dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada paduan Cu-36Zn-1Al *as-cast*, terdapat *peak* dengan intensitas tertinggi pada  $2\theta = 43.4097^\circ$  dan  $79.4136^\circ$ , *peak* tersebut memiliki kesesuaian dengan fasa  $\beta$ . Pada  $2\theta = 42.1269^\circ$ , sesuai dengan fasa  $\alpha$ . Hasil XRD dari sampel Cu-36Zn-1Al *solution treatment* memiliki intensitas tertinggi pertama dan kedua pada  $2\theta = 43.2331^\circ$  dan  $79.3425^\circ$  memiliki kesesuaian dengan kartu PDF 00-002-1231 yang merupakan milik fasa  $\beta$ . Pada  $2\theta = 42.2514^\circ$  juga bersesuaian dengan puncak milik fasa  $\alpha$ .



**Gambar 4.5.** Pola XRD paduan Cu-36Zn-1Al dalam berbagai kondisi

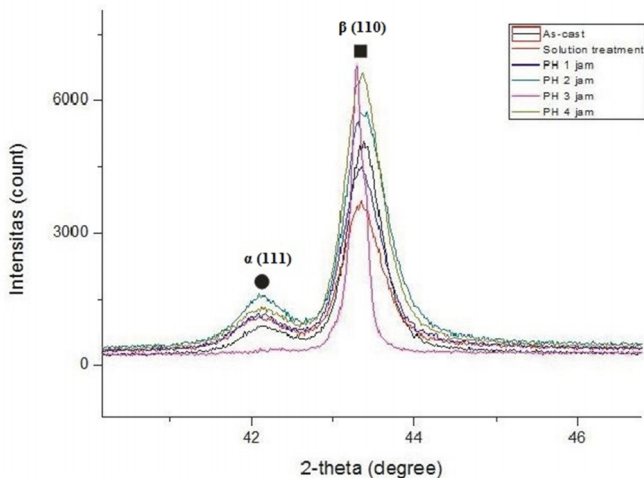
Pada paduan Cu-36Zn-1Al sampel *precipitation hardening*, hasil pengujian XRD dari sampel *aging* yang sebelumnya di-*solution treatment* tersebut nampak adanya *peak*





yang menunjukkan adanya fasa  $\beta$  pada sampel setelah di-*aging*. Tetapi terjadi anomali pada sampel yang di-*aging* selama 3 jam, dimana tidak terdapat *peak* CuZn seperti pada sampel lainnya. Jika dilihat dari grafiknya, hasil XRD sampel *aging* selama 3 jam juga memiliki puncak pada  $2\theta = 42.36^\circ$ , tetapi karena intensitasnya yang sangat rendah sehingga tidak terdeteksi sebagai salah satu *peak* tertinggi.

Berdasarkan hasil pengujian XRD sampel setelah di-*aging* diperoleh fasa yang dominan adalah  $\beta$ . Hal tersebut ditunjukkan oleh *peak* dengan intensitas tertinggi pada semua sampel *aging* memiliki kesesuaian dengan *peak* milik fasa  $\beta$  pada kartu PDF 00-002-1231 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6.** Pola XRD paduan Cu-36Zn-1Al dalam berbagai kondisi

#### 4.7. Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian Metalografi dilakukan di Lab oratorium Metalurgi menggunakan Olympus BX. Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan Al dan



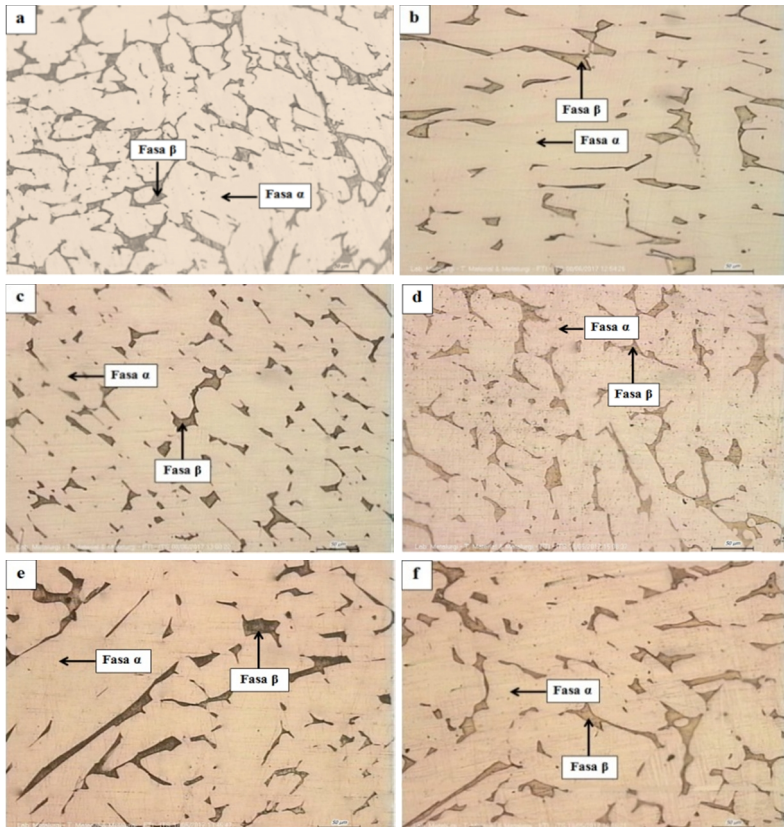
proses *solution treatment* serta *aging* terhadap fasa yang terbentuk. Larutan etsa yang digunakan adalah 5 gr  $\text{FeCl}_3$ , 50ml HCl dan 100ml aquades sesuai dengan ASM Metals Handbook vol.9 sehingga fasa yang terlihat adalah  $\alpha$  dan  $\beta$ .

#### 4.3.1. Paduan Cu-37Zn

Pada Gambar 4.7 (a) paduan Cu-37zn kondisi *as-cast* terdapat fasa  $\beta$  yang tersebar dalam matrix  $\alpha$ . Fasa  $\alpha$  pada strukturmikro memiliki daerah berwarna terang. Dan fasa  $\beta$  memiliki warna yang lebih gelap (ASM Metal Handbook, 2004). Fasa  $\alpha$  memiliki struktur *fcc* yang memiliki sifat yang ulet dan kekerasannya lebih rendah. Selain itu struktur ini memiliki sifat yang lunak dan *formability* yang baik. Sedangkan struktur  $\beta$  memiliki struktur kristal BCC dimana struktur ini memiliki sifat yang kuat dan keras. Fasa ini juga merupakan fasa penguat sehingga paduan ini memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Gambar 4.7 (b) merupakan paduan Cu-37Zn yang mengalami proses *solution treatment*. Pada paduan ini terdapat fasa  $\alpha$  yang berwarna terang dan fasa  $\beta$  yang berwarna gelap. Paduan ini seharusnya hanya memiliki fasa  $\alpha$  karena proses pendinginan setelah pemanasan dilakukan secara cepat (*water quench*). Tetapi, fasa  $\beta$  tetap muncul dikarenakan temperatur pemanasan kurang tinggi untuk mencapai fasa  $\alpha$  seluruhnya dan waktu tahan kurang lama sehingga fasa  $\beta$  belum terlarut sempurna menjadi fasa  $\alpha$ . Jumlah fasa  $\alpha$  lebih dominan dan fasa  $\beta$  lebih sedikit dibandingkan dengan paduan Cu-37Zn *as-cast*. Gambar 4.7. (c) menunjukkan paduan Cu-37Zn *aging* selama 1 jam. Pada sampel ini, mulai tumbuh *secondary phase* yang diduga adalah fasa  $\beta$ . *Secondary phase* ini tersebar merata didalam matriks  $\alpha$ . Pada paduan Cu-37Zn *aging* selama 2 jam yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7. (d), ukuran *secondary phase* semakin membesar dan memanjang. Pertumbuhan dari fasa  $\beta$  membuat luas fasa  $\alpha$  semakin sedikit. Pada sampel Cu-37Zn *aging* 3 jam yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7. (e) ukuran fasa  $\beta$  semakin membesar dibandingkan dengan paduan Cu-37Zn yang di-*aging*



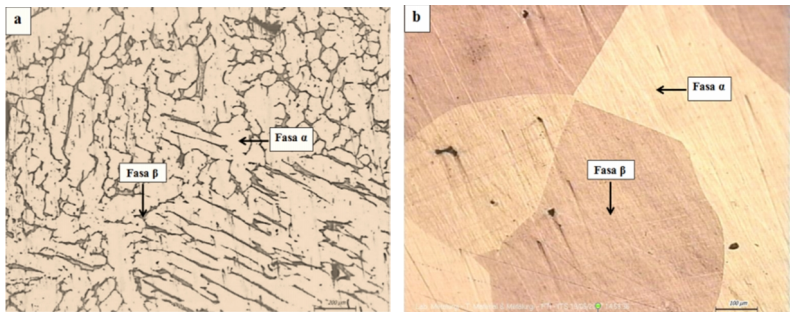
selama 2 jam. Pada paduan Cu-37Zn *aging* selama 4 jam, terbentuk ukuran butir fasa  $\beta$  yang paling besar dibanding dengan waktu *aging* yang lain. Temperatur yang digunakan pada proses *aging* menyebabkan munculnya fasa  $\beta$  sehingga terjadi mekanisme pertumbuhan butir. Suatu kristal yang dipanaskan akan mengalami pertumbuhan dan pengintian.



**Gambar 4.7.** Strukturmikro paduan Cu-37Zn (a)*as-cast*; (b) *solution treatment* 450°C; (c) *aging* 1 jam; (d) *aging* 2 jam; (e) *aging* 3 jam; (f) *aging* 4 jam perbesaran 200x

#### 4.3.2. Paduan Cu-37Zn-1Al

Paduan Cu-36Zn-1Al memiliki bentuk yang berbeda dibanding dengan paduan Cu-37Zn. Hal ini disebabkan karena penambahan unsur aluminium karena aluminium memodifikasi fasa dalam paduan dengan mempromosikan lebih banyak fasa  $\beta$ . Penambahan aluminium juga mereduksi ukuran butir, selain itu juga sebagai inokulan yang memperbanyak nukleasi butir. Selain itu aluminium juga mengubah struktur butir yang awalnya dendritik menjadi *equiaxed* (Rajab, 2014), seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.8.

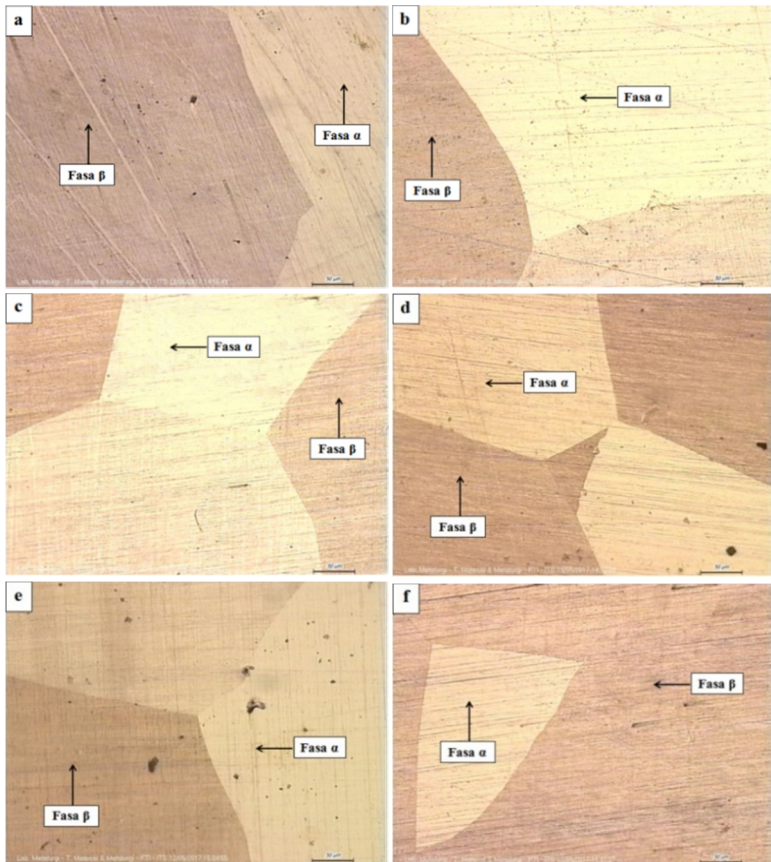


**Gambar 4.8.** Perbandingan struktur mikro paduan: (a)Cu-37Zn, (b)Cu-36Zn-1Al perbesaran 100x

Struktur mikro paduan Cu-36Zn-1Al ditunjukkan oleh Gambar 4.9. Gambar 4.9. (a) menunjukkan paduan Cu-36Zn-1Al kondisi *as-cast*. Pada paduan tersebut terlihat fasa  $\beta$  lebih dominan dibanding fasa  $\alpha$ . Gambar 4.9 (b) merupakan paduan Cu-36Zn-1Al yang mengalami proses *solution treatment*. Pada paduan ini terdapat fasa  $\alpha$  yang berwarna terang dan fasa  $\beta$  yang berwarna gelap. Paduan ini seharusnya hanya memiliki fasa  $\alpha$  karena proses pendinginan setelah pemanasan dilakukan secara cepat (*water quench*). Tetapi, fasa  $\beta$  tetap muncul dikarenakan temperatur pemanasan kurang tinggi untuk mencapai fasa  $\alpha$  seluruhnya dan waktu tahan kurang lama sehingga fasa  $\beta$  belum terlarut sempurna menjadi fasa  $\alpha$ . Jumlah fasa  $\alpha$  lebih dominan dan fasa  $\beta$  lebih sedikit dibandingkan dengan paduan Cu-36Zn-



1Al *as-cast*. Gambar 4.9. (c) menunjukkan paduan Cu-36Zn-1Al *aging* selama 1 jam. Pada sampel ini, mulai tumbuh fasa  $\beta$  disekitar fasa  $\alpha$ . Pada paduan Cu-36Zn-1Al *aging* selama 2 jam yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9. (d), ukuran fasa  $\beta$  semakin membesar. Pertumbuhan dari fasa  $\beta$  membuat luas fasa  $\alpha$  semakin sedikit.



**Gambar 4.9.** Strukturmikro paduan Cu-36Zn-1Al (a)*as-cast*; (b) *solution treatment* 450°C; (c) *aging* 1 jam; (d) *aging* 2 jam; (e) *aging* 3 jam; (f) *aging* 4 jam perbesaran 200x



Pada sampel Cu-36Zn-1Al *aging* 3 jam yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9. (e) ukuran fasa  $\beta$  semakin membesar dibandingkan dengan paduan Cu-36Zn-1Al yang di-*aging* selama 2 jam. Pada paduan Cu-36Zn-1Al *aging* selama 4 jam, terbentuk ukuran butir fasa  $\beta$  yang paling besar dibanding dengan waktu *aging* yang lain.

#### 4.3.3. Perhitungan % Luas Area $\alpha$ dan $\beta$ Paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al

Tabel 4.2 menunjukkan % luas area  $\alpha$  dan  $\beta$  pada paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al.

**Tabel 4.2.** % Luas area  $\alpha$  dan  $\beta$  pada paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al

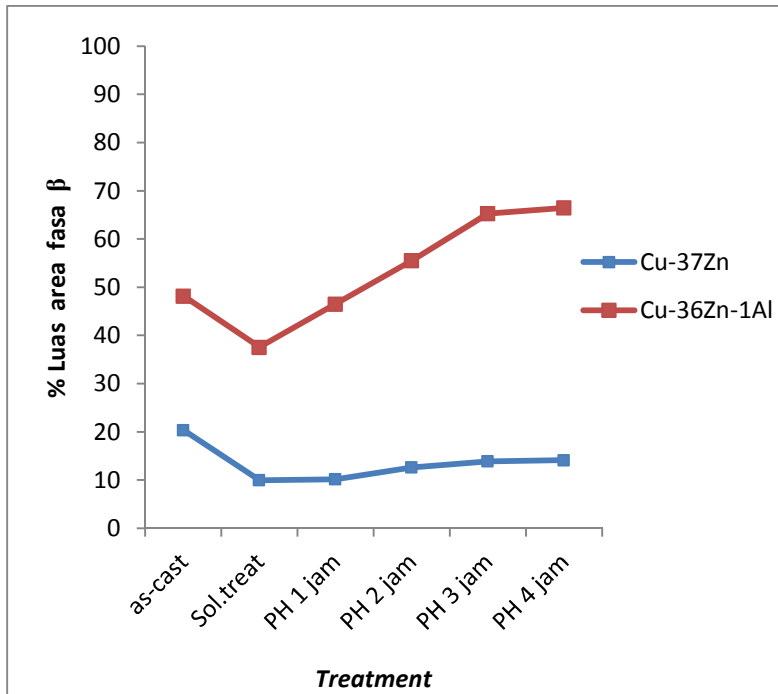
Paduan	<i>Treatment</i>	%Luas area $\alpha$	% Luas area $\beta$
Cu-37Zn	<i>As-cast</i>	79,642	20,358
	<i>Sol.treatment</i>	90,503	9,947
	PH 1 jam	88,859	10,141
	PH 2 jam	87,398	12,602
	PH 3 jam	86,121	13,879
	PH 4 jam	85,9	14,1
Cu-36Zn-1Al	<i>As-cast</i>	51,817	48,183
	<i>Sol.treatment</i>	62,445	37,555
	PH 1 jam	53,491	46,509
	PH 2 jam	44,489	55,511
	PH 3 jam	34,725	65,275
	PH 4 jam	33,341	66,459





Pada paduan Cu-37Zn *as-cast* memiliki % luas area  $\alpha$  sebesar 79,642 dan  $\beta$  sebesar 20,358. Dengan kadar Zn sebesar 36%, unsur Zn terlarut dalam fasa  $\alpha$  dan membentuk fasa  $\beta$ . Setelah di-*solution treatment*, % luas area  $\alpha$  meningkat menjadi 90,503 dan fasa  $\beta$  menurun menjadi 9,947. Hal tersebut terjadi karena paduan Cu-37Zn dipanaskan sampai temperatur 450°C dan di-*holding* selama 1 jam sehingga menyebabkan fasa  $\beta$  terlarut menjadi fasa  $\alpha$ . Tetapi tidak semua fasa  $\beta$  terlarut dikarenakan waktu tahan yang kurang lama serta temperatur pemanasan yang kurang tinggi. Pada paduan Cu-37Zn waktu *aging* 1 jam, % luas area  $\alpha$  menurun menjadi 88,859 dan  $\beta$  meningkat menjadi 10,141. Hal tersebut juga terjadi pada paduan Cu-37Zn *aging* 2 jam, % luas area  $\alpha$  kembali menurun menjadi 85,9 dan  $\beta$  meningkat menjadi 14,1. Meningkatnya % luas area  $\beta$  disebabkan pertumbuhan fasa  $\beta$  akibat proses *aging* pada temperatur 250°C. Tetapi, pada paduan Cu-37Zn *aging* 3 jam, % luas area  $\alpha$  kembali meningkat menjadi 87,398 dan  $\beta$  menurun menjadi 12,602. Pada paduan Cu-37Zn *aging* 4 jam, % luas area  $\alpha$  menurun kembali menjadi 86,121 dan  $\beta$  meningkat menjadi 13,879.

Paduan Cu-36Zn-1Al memiliki % luas area  $\beta$  yang lebih besar dibandingkan dengan paduan Cu-37Zn. Pada paduan Cu-36Zn-1Al *as-cast* memiliki % luas area  $\alpha$  sebesar 51,817 dan  $\beta$  sebesar 48,183. Setelah di-*solution treatment*, % luas area  $\alpha$  meningkat menjadi 62,445 dan fasa  $\beta$  menurun menjadi 37,555. Pada paduan Cu-36Zn-1Al waktu *aging* 1 jam, % luas area  $\alpha$  menurun menjadi 61,557 dan  $\beta$  meningkat menjadi 38,442. Hal tersebut juga terjadi pada paduan Cu-36Zn-1Al *aging* 2 jam, % luas area  $\alpha$  kembali menurun menjadi 44,489 dan  $\beta$  meningkat menjadi 55,511. Pada paduan Cu-36Zn-1Al *aging* 3 jam, % luas area  $\alpha$  kembali menurun menjadi 34,725 dan  $\beta$  meningkat menjadi 65,275. Pada paduan Cu-36Zn-1Al *aging* 4 jam, % luas area  $\alpha$  menurun kembali menjadi 33,341 dan  $\beta$  meningkat menjadi 66,459. Gambar 4.10 menunjukkan grafik % luas area  $\alpha$  dan  $\beta$  pada paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al.



**Gambar 4.10.** Grafik % Luas area  $\alpha$  dan  $\beta$  pada paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al

#### 4.5. Pengujian Kekerasan Paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi menggunakan *Universal Hardness Tester* HBRV-187.5A. Pengujian kekerasan material spesimen dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan Vickers (HV) dengan pemberian beban tekan 100 kgf. Tabel 4.4 dan Gambar 4.11 menunjukkan pengaruh penambahan aluminium dan proses *precipitation hardening* pada paduan Cu-37Zn. Pengujian dilakukan dengan memberikan 3 indentasi pada setiap 1 spesimen sehingga didapat 3 nilai kekerasan HV pada setiap spesimen yang kemudian dihitung rata-rata nilai kekerasan HV untuk setiap spesimen.





Pada paduan Cu-37Zn kondisi *as-cast*, nilai kekerasan rata-rata yang didapat dari tiga titik indentasi adalah 69,3 HV. Paduan Cu-37Zn *solution treatment* nilai kekerasan tidak mengalami perubahan secara signifikan menjadi 69,5 HV. Pada paduan Cu-37Zn *aging* 1 jam didapatkan kenaikan kekerasan menjadi 70,4 HV, untuk Cu-37Zn *aging* 2 jam nilai kekerasan mengalami kenaikan menjadi 72 HV. Pada paduan Cu-37Zn *aging* 3 jam didapatkan nilai kekerasan tertinggi dibanding dengan kondisi paduan Cu-37Zn yang lain, sebesar 73,8 HV. Pada paduan Cu-37Zn *aging* 4 jam, nilai kekerasan menurun menjadi 71,3 HV.

Pada paduan Cu-36Zn-1Al nilai kekerasan meningkat signifikan dibandingkan dengan paduan Cu-37Zn. Pada paduan Cu-36Zn-1Al kondisi *as-cast*, nilai kekerasan rata-rata yang didapat dari tiga titik indentasi adalah 134,3 HV. Paduan Cu-36Zn-1Al *solution treatment* nilai kekerasan tidak mengalami perubahan secara signifikan menjadi 135,2 HV, kemudian untuk Cu-36Zn-1Al *aging* 1 jam didapatkan kenaikan kekerasan menjadi 144,3 HV, untuk Cu-36Zn-1Al *aging* 2 jam nilai kekerasan mengalami kenaikan menjadi 147,3 HV. Pada paduan Cu-36Zn-1Al *aging* 3 jam didapatkan nilai kekerasan tertinggi dibanding dengan kondisi paduan Cu-36Zn-1Al yang lain, sebesar 147,7 HV. Pada paduan Cu-36Zn-1Al *aging* 4 jam, nilai kekerasan menurun menjadi 144,3 HV.

Perbedaan nilai kekerasan yang signifikan antara paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al disebabkan karena penambahan unsur aluminium. Hal ini disebabkan karena aluminium memodifikasi fasa dalam paduan dengan mempromosikan lebih banyak fasa  $\beta$ . Perubahan fasa ini mampu mereduksi ukuran butir dari paduan. Selain itu, penambahan aluminium memiliki pengaruh yang sama dengan penambahan seng, namun pengaruh aluminium ini lebih kuat 6 kali dibanding seng (Sadayappan, 2004).

Paduan hasil *solution treatment* tidak mengalami perubahan yang signifikan disebabkan karena pada proses *solution treatment*, atom terlarut melebihi presentasi batas

---

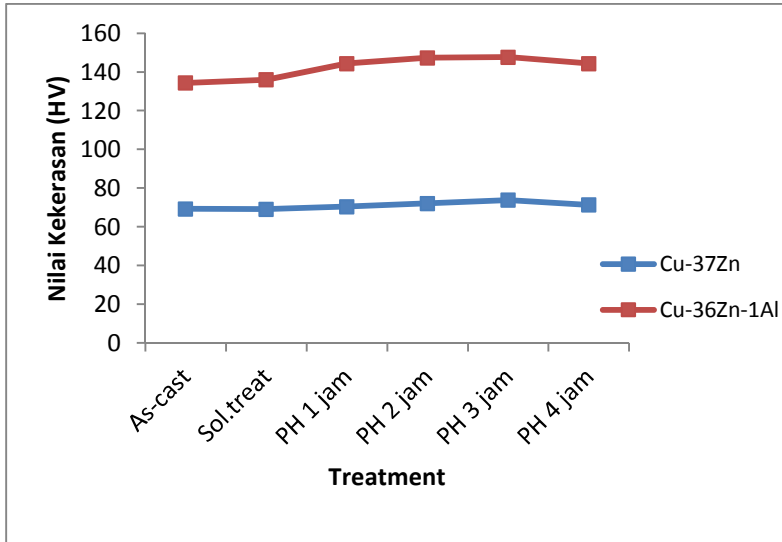
#### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**



kelarutan. Atom tersebut tertahan akibat *quenching* selama proses berlangsung. Hal ini menghasilkan regangan kisi sehingga kekerasan tidak berubah secara signifikan. Pada paduan hasil *aging*, kekerasan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya waktu *aging* tetapi menurun pada waktu tahan *aging* selama 4 jam. Hal tersebut disebabkan karena selama proses *aging* terjadi pertumbuhan dan pengintian fasa  $\beta$ . Semakin lama waktu tahan, partikel kecil fasa  $\beta$  menggumpal dan menjadi semakin besar sehingga partikel yang terbentuk menjadi lebih kasar dan membuat kekerasan menurun (R.E. Sallman, 2014).

**Tabel 4.4.** Nilai Kekerasan Paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al

Paduan	Treatment	Nilai Kekerasan (HV)
Cu-37Zn	<i>As-cast</i>	$69,3 \pm 0,56$
	<i>Solution treatment</i>	$69,5 \pm 0,51$
	<i>PH 1 jam</i>	$70,4 \pm 0,29$
	<i>PH 2 jam</i>	$72,1 \pm 0,31$
	<i>PH 3 jam</i>	$73,8 \pm 0,93$
	<i>PH 4 jam</i>	$71,3 \pm 0,58$
Cu-36Zn-1Al	<i>As-cast</i>	$134,3 \pm 1,15$
	<i>Solution treatment</i>	$135,2 \pm 1$
	<i>PH 1 jam</i>	$144,3 \pm 0,58$
	<i>PH 2 jam</i>	$147,3 \pm 0,58$
	<i>PH 3 jam</i>	$147,7 \pm 2,082$
	<i>PH 4 jam</i>	$144,3 \pm 0,58$



**Gambar 4.11.** Grafik nilai kekerasan terhadap perlakuan spesimen

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Pengaruh penambahan aluminium membuat struktur mikro paduan berubah dari dendritik menjadi ekuiaksial dan mempromosikan lebih banyak fasa  $\beta$ .
2. Struktur mikro dari paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al yang dihasilkan setelah *solution treatment* tidak mengalami perubahan fasa, akan tetapi menurunkan luas area dari fasa  $\beta$ . Setelah proses *aging*, luas area fasa  $\beta$  menjadi lebih besar seiring dengan meningkatnya waktu *aging*.
3. Pengaruh penambahan aluminium meningkatkan kekerasan paduan Cu-37Zn.
4. Proses *precipitation hardening* meningkatkan kekerasan paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al. Nilai kekerasan paduan Cu-37Zn dan Cu-36Zn-1Al tertinggi pada paduan *precipitation hardening* dengan waktu *aging* 3 jam dengan nilai 73,8 HV dan 147,7 HV.

#### **5.2 Saran**

Penelitian selanjutnya disarankan:

1. Menggunakan furnace dengan *thermometer control* sehingga dapat mengatur dan menjaga temperatur dengan baik
2. Waktu tahan pada proses *solution treatment* lebih lama agar fasa  $\beta$  dapat terlarut sempurna menjadi fasa  $\alpha$  sehingga proses *aging* dapat berjalan dengan optimal.
3. Memakai furnace yang temperaturnya dapat stabil pada temperatur penelitian, khususnya untuk temperatur saat *aging*.
4. Melakukan pengujian yang berskala nano karena lingkup pembahasan yang dilakukan berskala nano.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 1992. **ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. ASM International Handbook Committee.
- \_\_\_\_\_. 1992. **ASM Handbook Volume 3: Alloy Phase Diagrams**. ASM International Handbook Committee.
- \_\_\_\_\_. 2004. **ASM Handbook Volume 9: Metallographic and Microstructures**. USA: ASM International Handbook Committee
- \_\_\_\_\_. 1992. **ASM Handbook Volume 15: Casting Copper and Copper Alloys**. USA: ASM International Handbook Committee
- \_\_\_\_\_. 1965. **Copper-Base Alloys Foundry Practice**. Des Plaines: American Foundrymen's Society
- \_\_\_\_\_. 2005. **Properties of Bronze for Marine Propellers**. <URL:[http://www.propellerpages.com/?c=articles&f=2005-11-29\\_Properties\\_Bronze](http://www.propellerpages.com/?c=articles&f=2005-11-29_Properties_Bronze)>
- Avner, S. H. 1974. **Introduction To Physical Metallurgy**. New York: McGraw-hill Book Company.
- Banga, T. 1981. **Foundry Engineering**. New Delhi: Khanna Publisher.
- Boss, C. B. 2004. **Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy**. Shelton: PerkinElmer
- Brunhuber; Giesserei Lexikon. 1998. **Fachverlag Schiele & Schoen GmbH**. Berlin.
- Callister, W. D. 2008. **Materials Science and Engineering An Introduction 8th edition**. New York: John Wiley & sons Inc.
- Chuaiphan, Wichan, Loeshpahn Srijaroenpramong dan Dumrongrit Pinpradub. "The Effect of Tin and Heat Treatment in Brass on Microstructure and Mechanical Properties for Solving the Cracking of Nut and Bolt".

- Applied Mechanics and Materials** Vol 389 (2013) pp 237-244
- Fontana, M. G. 1987. **Corrosion Engineering Third Edition**. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Groover, M. 2010. **Fundamental of Modern Manufacture 4th edition**. USA: John Wiley & Sons, Inc
- Gumilang, Shena dan Hosta A. 2014. **Pengaruh Penambahan Aluminium (Al) Dan Penggunaan Chill Tembaga Pada Cetakan Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Paduan Cu-Zn-Al Melalui Proses Pengecoran**. Surabaya: ITS
- Kalpakjian, S. 2009. **Manufacturing Engineering and Technology 6th edition**. Chicago: Pearson.
- Kaufmann, E.N. 2003. **Characterization Of Materials: Volumes 1 and 2**. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Konrad, J. A. dan John G. Cowie. 2006. **Mechanical Engineers Handbook: Materials and Mechanical Design, Volume 1, Third Edition**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Materials Science International Team MSIT®. 2005. **Light Metal Ternary Systems: Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data. Stuttgart: Springer Berlin Heidelberg**
- Mohammed, Rajab dan Osama Ibrahim abd. 2014. "Influence of Addition Al and Ti on Microstructure and Mechanical Properties of Lead Brass Alloys". **Indian Journal of Materials Science Volume 2014**
- Nur, Hamzah. 2010. **Investigation of Brass Microstructure and Mechanical Properties Using Metal Casting**. Universiti Malaysia Pahang
- Pantazopoulo, G dan Vazdirvanidis, A. 2008. "Characterization of the Microstructural Aspects of Machinable a-b Phase Brass". **ELKEME Hellenic Research Centre for Metals**

- Porter, D.A., dan K.E. Easterling. 1992. **Phase Transformation in Metals and Alloys 2nd Edition**. India: Chapman & Hall.
- Roberge, P. R. 2000. **Handbook of Corrosion Engineering**. New York: McGraw-Hill.
- Sadayappan, M. 2004. **Grain Refinement of Permanent Mold cast Copper Base Alloys**. USA: Materials Technology Laboratory
- Schumann. 1983. ***Metallographie***. Leipzig : VEB Deutsche Verlag fur Grundstoffindustrie
- Smallman, R.E. dan Ngan, A.H. 2014. **Modern Physical Metallurgy**. Oxford: Elsevier Ltd.
- Sudjana, Hadi. 2008. **Teknik pengecoran untuk SMK**. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Taufiq, Tania, dan Akhmad A. Korda. 2010. “Studi Pengaruh Temperatur *Aging* dan Orientasi Butiran Terhadap Sifat Mekanik Paduan Al 2014. **JTM XVII**, 3:161-170.
- Vilarinho, dkk. 2005. “Influence of the chemical composition on the machinability of brasses”. **Journal of Materials Processing Technology 170**, p.441–447
- Wibisono, Mirza., 2009. **Studi Pengaruh Temperatur Dan Waktu Pemanasan Proses Anil Cepat Terhadap Besar Butir , Mampu Bentuk Pelat, Difraksi Sinar X Dan Kekasaran Pelat Kuningan 70/30**. Depok: Universitas Indonesia



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# LAMPIRAN

## LAMPIRAN 1 :

### Spesifikasi Material Lebur

### Aluminium

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
- LABORATORIUM DT NDT

#### OES Chemical Results

Sample ID : 1 (T-MATERIAL) ITS      Material : Aluminium Ingot  
Customer : Sdr. Huffal Azhar F      Dimension : -  
Lab-no. : Uji Bahan      Heat-no. : -  
Operator : elham      Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI  
Date : 10/30/2015

Spektralanalyse Foundry-MASTER      Grade :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	97.7	0.261	0.875	0.0537	0.121	0.0015	0.788	0.0248
2	97.7	0.255	0.854	0.0528	0.110	0.0012	0.789	0.0223
3	97.8	0.276	0.822	0.0519	0.0917	0.0010	0.785	0.0176
Ave	97.7	0.264	0.850	0.0528	0.107	0.0012	0.788	0.0216
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr
1	0.0074	0.0125	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0513	0.0022	< 0.0001
2	0.0067	0.0138	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0516	0.0043	< 0.0001
3	0.0061	0.0127	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0547	0.0039	< 0.0001
Ave	0.0067	0.0130	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0525	0.0034	< 0.0001
	V	Na	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co
1	0.0067	0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0128	0.0028	0.0026
2	0.0091	< 0.0001	0.0013	< 0.0003	< 0.0002	0.0114	0.0030	0.0025
3	0.0072	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0113	0.0027	0.0024
Ave	0.0077	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0118	0.0028	0.0025
	Ag	Hg	In	Sb	P	As	Ce	La
1	0.0028	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	< 0.0030	0.0071	0.0060	0.0031
2	0.0002	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0053	< 0.0030	0.0033	0.0018
3	0.0001	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0069	0.0045	0.0028	0.0026
Ave	0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0047	0.0038	0.0040	0.0025

Stamp: 30 Oktober 2015  
MMS  
Elham A

## Zinc Anode

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
LABORATORIUM DT NDT

### OES Chemical Results

Sample ID : K Material : Zn  
Customer : Sdr. M. Fajar Ismail (T.MATERIAL) Dimension : -  
Lab-no : UJI BAHAN Heat-no : -  
Operator : ELHAM Ka. Laboratorium : M. Thoriq Wahyudi  
Date : 23/01/2017

### Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Zn	Al	Cd	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni
1	99.4	0.382	0.0314	0.0371	< 0.0020	0.0070	0.0036	< 0.0020
2	99.3	0.357	0.0303	0.0297	< 0.0020	0.0081	0.0033	< 0.0020
3	99.3	0.352	0.0299	0.0381	< 0.0020	0.0087	0.0035	< 0.0020
Ave	99.3	0.364	0.0306	0.0350	< 0.0020	0.0080	0.0035	< 0.0020

	Pb	Sb	Sn	As	Bi	Ag	In
1	0.0350	> 0.0600	0.0171	< 0.0001	0.0015	0.0005	0.0016
2	0.0342	> 0.0600	0.0303	0.0001	0.0010	0.0005	0.0012
3	0.0322	> 0.0600	0.0265	0.0001	0.0009	0.0007	0.0018
Ave	0.0338	> 0.0600	0.0246	< 0.0001	0.0011	0.0006	0.0015

**LAMPIRAN 2:****Material Hasil Pengecoran****Komposisi 1 Cu-37Zn**

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
LABORATORIUM DT NDT


**OES Chemical Results**

Sample ID :	Cu-36Zn-1Al	Material :	Cu-Zn-Al
Customer :	M. Fajar Ismail	Dimension :	23x24x10 mm
Lab-no. :	Lab. Uji Bahan	Heat-no. :	N/A
Operator :	Muharror	Ka. Laboratorium :	M. Thoriq W.
Date :	08 Maret 2017		

**Spektralanalyse Foundry-MASTER**

Grade :

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	59.0	34.9	0.119	0.211	0.0040	1.36	1.76	0.531
2	59.3	34.5	0.118	0.205	0.0007	1.36	1.84	0.532
3	59.6	34.2	0.111	0.203	0.0021	1.35	1.85	0.515
Ave	59.7	36.0	0.0161	0.0051	< 0.0001	< 0.0002	< 0.0005	0.0275
	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	< 0.0003	< 0.0005	0.0017	2.03	< 0.0001	0.0030	0.0100	0.0052
2	< 0.0003	< 0.0005	0.0016	2.04	0.0001	0.0069	0.0087	0.0052
3	< 0.0003	0.0005	0.0017	2.07	< 0.0001	0.0054	0.0110	0.0067
Ave	< 0.0003	< 0.0005	< 0.0005	0.184	< 0.0001	0.0014	0.0114	0.0017
	Bi	Cd	Sb	Zr				
1	0.0022	< 0.0002	< 0.0005	0.0022				
2	0.0005	< 0.0002	< 0.0005	0.0008				
3	0.0022	< 0.0002	< 0.0005	0.0008				
Ave	< 0.0005	0.0035	0.0092	< 0.0002				

Examined by,  
PPNS  
  
(MUHARROR)

## Komposisi 2 Cu-36Zn-1Al

### POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA LABORATORIUM UJI BAHAN

#### OES Chemical Results

Sample ID : - Material : Cu-36Zn-1Al  
Customer : M. FAJAR ISMAIL (T. MATERIAL-ITS) Dimension : -  
Lab. no. : LAB. UJI BAHAN Heat No. : -  
Operator : MUHARROR Date : 4/10/2017  
Ka. Lab. : M. THORIQ W.

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni
1	60.1	37.8	0.0162	0.0042	0.0030	< 0.0002	0.0492	0.0221
2	61.6	36.2	0.0174	0.0033	0.0011	< 0.0002	0.0453	0.0224
3	61.3	36.6	0.0160	0.0020	0.0013	< 0.0002	0.0331	0.0174
Ave	61.0	36.9	0.0165	0.0035	0.0018	< 0.0002	0.0425	0.0206

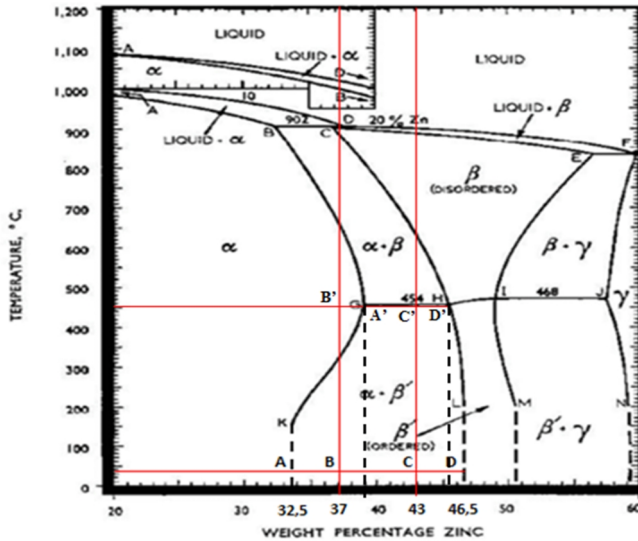
	Si	Mg	Cr	Al	S	As	Ag	Co
1	0.0145	0.0005	0.0075	1.87	< 0.0001	0.0037	0.0168	0.0052
2	0.0151	< 0.0005	0.0065	1.94	< 0.0001	0.0024	0.0140	0.0101
3	0.0099	< 0.0005	0.0034	1.96	< 0.0001	0.0017	0.0153	0.0062
Ave	0.0132	< 0.0005	0.0058	1.92	< 0.0001	0.0026	0.0164	0.0072

	Bi	Cd	Sb	Zr
1	0.0009	0.0023	0.0070	0.0014
2	0.0007	0.0023	0.0160	< 0.0002
3	0.0006	0.0020	0.0057	0.0016
Ave	0.0007	0.0022	0.0096	0.0010

### LAMPIRAN 3:

#### Perhitungan Level Rule



Perhitungan %  $\alpha$  dan %  $\beta$

#### a. Cu-37Zn

- Temperatur 25°C

$$\% \alpha = \frac{D-B}{D-A} \times 100\% = \frac{4,5-3}{4,5-3,5} \times 100\% = \frac{9,5}{1} \times 100\% = 67,8 \%$$

$$\% \beta = \frac{B-A}{D-A} \times 100\% = \frac{3-3,5}{4,5-3,5} \times 100\% = \frac{4,5}{1} \times 100\% = 32,2 \%$$

- Temperatur 450°C

$$\% \alpha = 100\%$$

**b. Cu-36Zn-1Al**

- Temperatur 25°C

$$\% \alpha = \frac{D-C}{D-A} \times 100\% = \frac{4,5-4}{4,5-3,5} \times 100\% = \frac{3,5}{1} \times 100\% = 25 \%$$

$$\% \beta = \frac{C-A}{D-A} \times 100\% = \frac{4-3,5}{4,5-3,5} \times 100\% = \frac{1,5}{1} \times 100\% = 75 \%$$

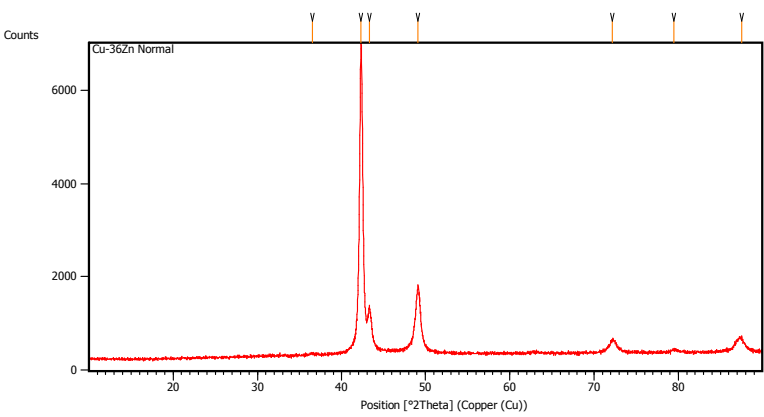
- Temperatur 450°C

$$\% \alpha = \frac{D'-C'}{D'-A'} \times 100\% = \frac{4,5-4}{4,5-3} \times 100\% = \frac{2,5}{6,5} \times 100\% = 38,4 \%$$

$$\% \beta = \frac{C'-A'}{D'-A'} \times 100\% = \frac{4-3}{4,5-3} \times 100\% = \frac{4}{6,5} \times 100\% = 61,6 \%$$

LAMPIRAN 4:

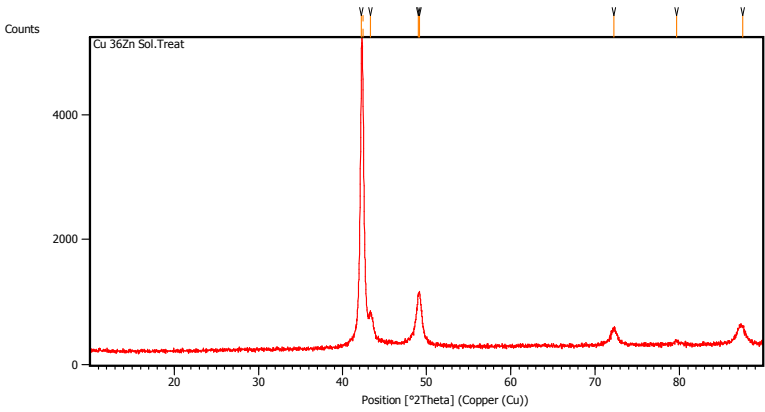
Hasil XRD Paduan Cu-37Zn *as-cast*



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.5445	24.75	0.8029	2.45887	0.37
42.2955	6628.44	0.2342	2.13689	100.00
43.2747	902.53	0.2007	2.09079	13.62
49.1308	1335.68	0.3011	1.85441	20.15
72.1696	237.24	0.4684	1.30893	3.58
79.4718	56.42	0.5353	1.20600	0.85
87.4965	253.47	0.6022	1.11489	3.82

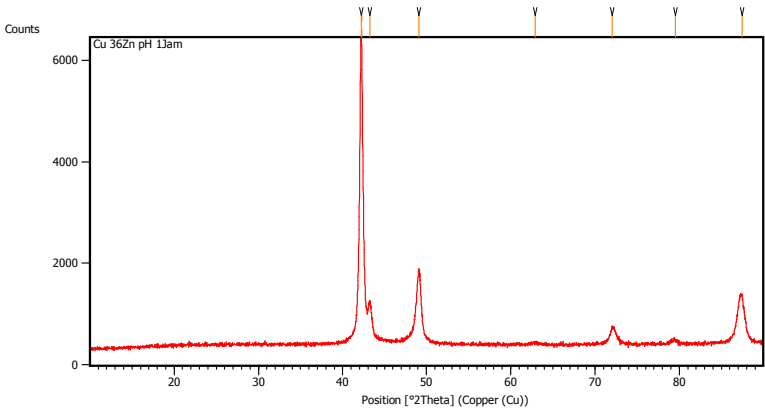


**Hasil XRD Paduan Cu-37Zn *solution treatment***



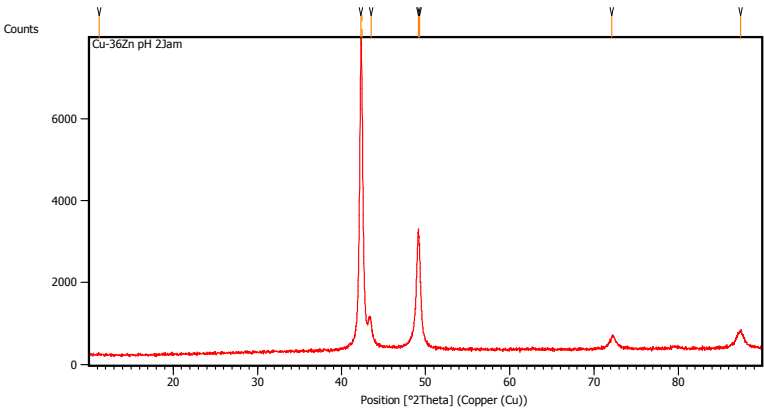
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.2357	4650.86	0.1020	2.13801	100.00
42.4101	4045.11	0.0816	2.13491	86.98
43.2763	480.97	0.2040	2.08898	10.34
49.0098	759.78	0.1632	1.85717	16.34
49.1727	791.61	0.1632	1.85139	17.02
72.2532	243.55	0.7344	1.30654	5.24
79.6745	56.19	0.4896	1.20245	1.21
87.5223	257.85	0.7344	1.11371	5.54

Hasil XRD Paduan Cu-37Zn PH 1 jam



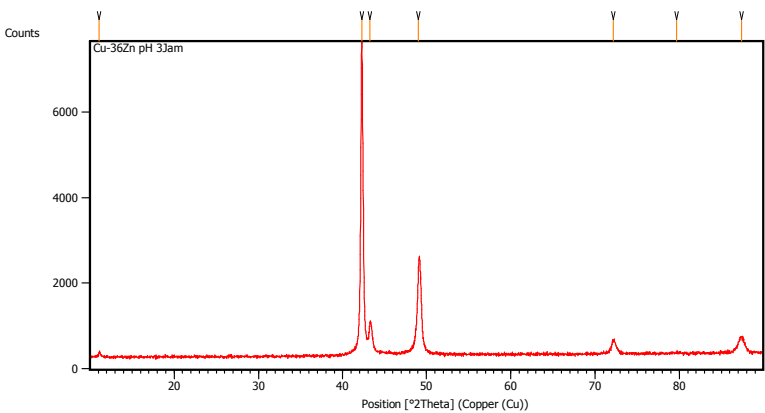
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.1806	5936.80	0.1632	2.14068	100.00
42.2720	5577.98	0.1224	2.14157	93.96
43.1990	750.51	0.4080	2.09254	12.64
49.1265	1364.67	0.1428	1.85303	22.99
62.8775	31.73	0.9792	1.47684	0.53
72.0610	316.40	0.6528	1.30955	5.33
79.5129	78.39	0.8160	1.20448	1.32
87.4656	880.57	0.3672	1.11428	14.83

Hasil XRD Paduan Cu-37Zn PH 2 jam



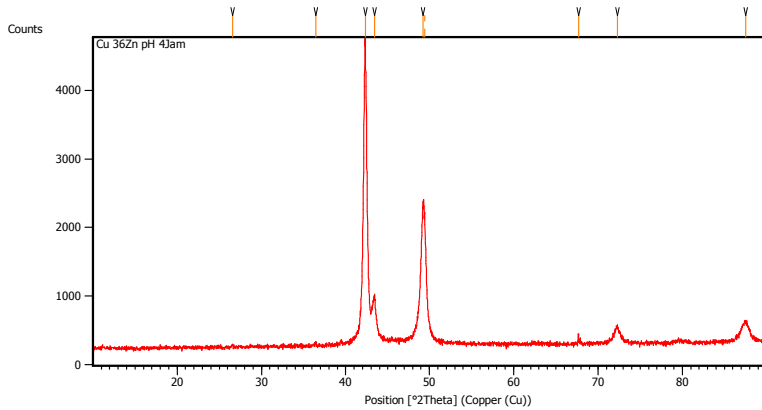
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.2564	22.23	0.4015	7.86090	0.30
42.3018	7535.11	0.2244	2.13483	100.00
42.3905	6610.48	0.1020	2.13585	87.73
43.4881	604.84	0.4896	2.07930	8.03
49.1519	2848.04	0.1428	1.85213	37.80
49.3130	2319.05	0.1632	1.84646	30.78
72.1148	263.02	0.3264	1.30871	3.49
87.3847	371.27	1.0608	1.11510	4.93

Hasil XRD Paduan Cu-37Zn PH 3 jam



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.1011	105.19	0.1673	7.97047	1.48
42.2538	7114.66	0.1673	2.13891	100.00
43.2369	687.20	0.1171	2.09253	9.66
49.0709	2050.00	0.0836	1.85654	28.81
72.1588	296.76	0.4015	1.30910	4.17
79.6907	19.60	0.8029	1.20324	0.28
87.3632	363.82	0.2342	1.11625	5.11

### Hasil XRD Paduan Cu-37Zn PH 4 jam

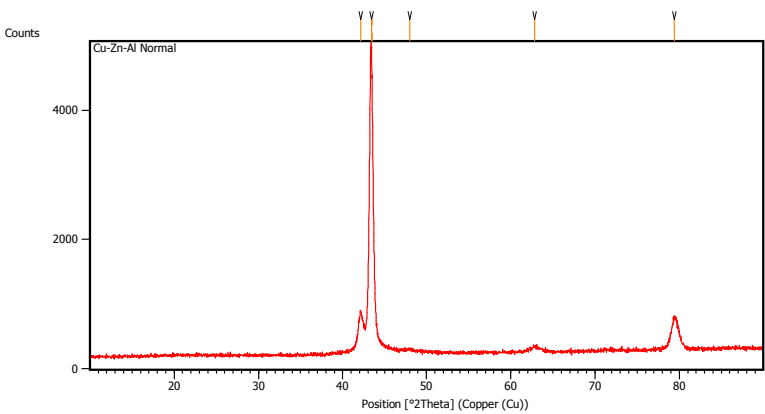


Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.4358	39.44	0.2007	2.46596	0.90
42.3251	4399.71	0.1338	2.13547	100.00
43.4261	605.15	0.1338	2.08385	13.75
49.2756	1970.05	0.3672	1.84777	44.78
49.4654	1607.05	0.1632	1.84570	36.53
67.6851	146.78	0.0612	1.38316	3.34
72.3296	222.12	0.2448	1.30535	5.05
87.5162	266.26	0.4896	1.11377	6.05

### Hasil XRD Paduan Cu-37Zn

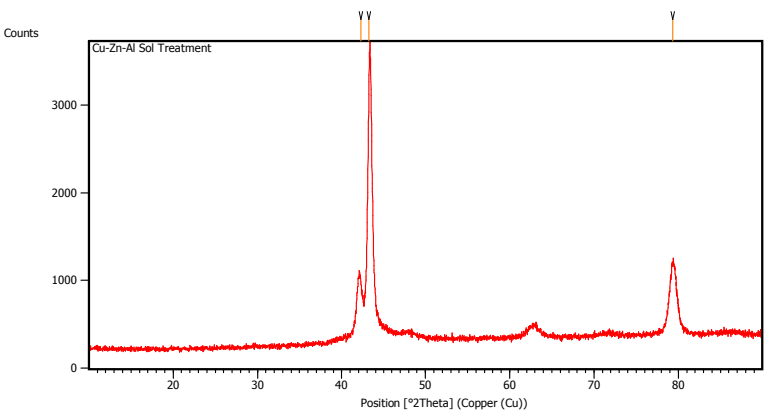
Kondisi paduan Cu-37Zn	Peak	HKL	Fasa
<i>As-cast</i>	42.2955	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.2747	1 1 0	CuZn
	49.1308	2 0 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	87.4965	3 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
<i>Solution treatment</i>	42.2357	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.2763	1 1 0	CuZn
	49.1727	2 0 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	87.5223	3 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
PH 1 jam	42.2720	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.1990	1 1 0	CuZn
	49.1265	2 0 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	72.0610	2 2 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	87.4656	3 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
PH 2 jam	42.3018	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.4881	1 1 0	CuZn
	49.3130	2 0 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	72.1148	2 2 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	87.3847	3 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
PH 3 jam	42.2538	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.2369	1 1 0	CuZn
	49.0709	2 0 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	72.1588	2 2 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	87.3632	3 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
PH 4 jam	42.3251	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.4261	1 1 0	CuZn
	49.2756	2 0 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	72.3296	2 2 0	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	87.5162	3 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$

**Hasil XRD Paduan Cu-36Zn-1Al *as-cast***



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.1269	596.86	0.2007	2.14506	12.82
43.4097	4656.64	0.1632	2.08287	100.00
43.4980	3999.04	0.0816	2.08402	85.88
48.0050	26.29	0.8160	1.89367	0.56
62.8488	74.09	0.6528	1.47744	1.59
79.4136	472.63	0.8160	1.20574	10.15

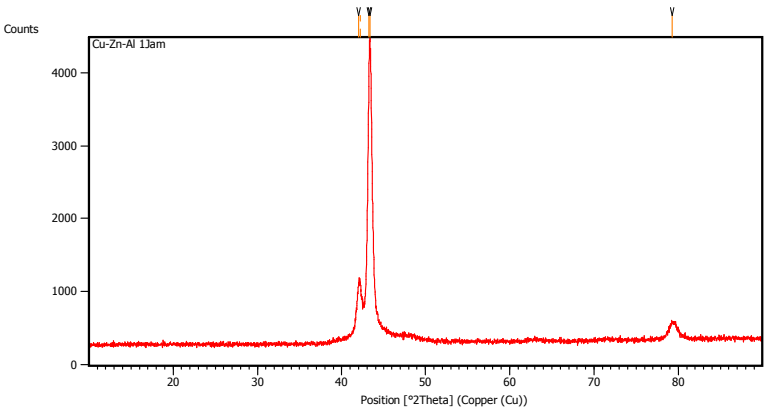
**Hasil XRD Paduan Cu-36Zn-1Al *solution treatment***



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.2514	577.95	0.3346	2.13902	20.44
43.2331	2827.22	0.0836	2.09270	100.00
79.3425	772.35	0.6691	1.20764	27.32

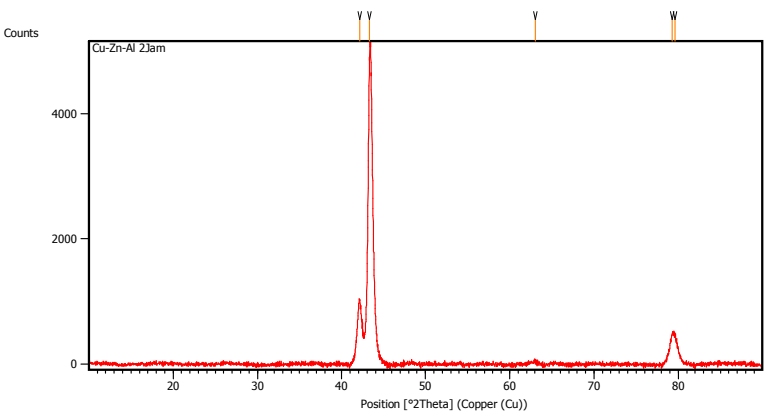


Hasil XRD Paduan Cu-36Zn-1Al PH 1 jam



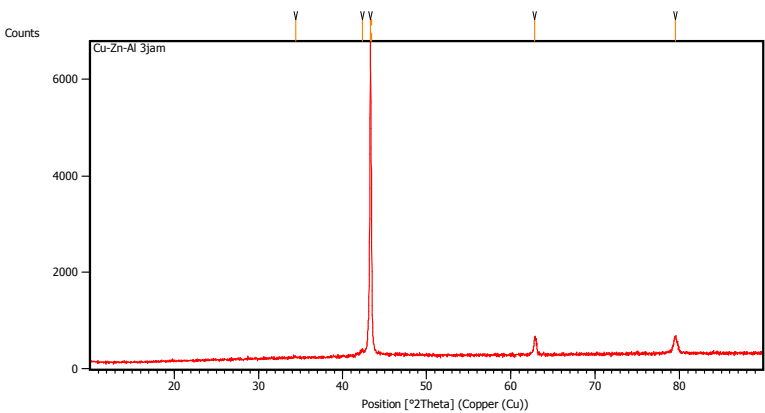
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.0151	695.46	0.2448	2.14872	17.41
42.2064	699.29	0.1632	2.14474	17.51
43.2385	3647.72	0.1020	2.09072	91.32
43.3336	3994.54	0.1020	2.08635	100.00
79.2402	199.39	0.3264	1.20794	4.99

Hasil XRD Paduan Cu-36Zn-1Al PH 2 jam



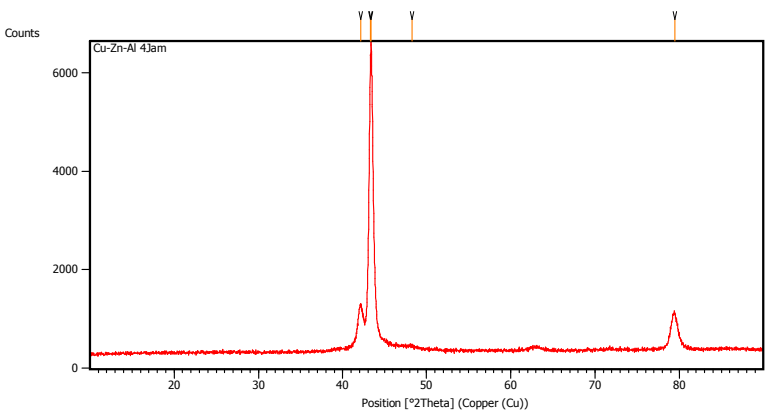
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.1701	1007.51	0.1171	2.14296	22.07
43.2601	4566.03	0.0836	2.09146	100.00
63.0351	65.48	0.6691	1.47475	1.43
79.2933	501.77	0.4080	1.20727	10.99
79.5945	483.48	0.2676	1.20445	10.59

Hasil XRD Paduan Cu-36Zn-1Al PH 3 jam



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
34.4371	18.31	0.8029	2.60437	0.28
42.3651	107.95	0.1673	2.13355	1.66
43.2849	6500.45	0.1224	2.08859	100.00
43.4101	3623.85	0.0612	2.08803	55.75
62.8607	366.20	0.2448	1.47719	5.63
79.5359	343.39	0.2856	1.20419	5.28

Hasil XRD Paduan Cu-36Zn-1Al PH 4 jam



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
42.1618	823.73	0.1673	2.14336	13.52
43.2813	5826.61	0.1020	2.08875	95.65
43.3728	6091.66	0.0669	2.08629	100.00
48.2930	22.89	0.8029	1.88460	0.38
79.4644	693.06	0.2007	1.20610	11.38

### Hasil XRD Paduan Cu-36Zn-1Al

Kondisi paduan Cu-36Zn-1Al	Peak	HKL	Fasa
<i>As-cast</i>	42.1269	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.4097	1 1 0	CuZn
	62.8488	2 0 0	CuZn
	79.4136	2 1 1	CuZn
<i>Solution treatment</i>	42.2514	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.2331	1 1 0	CuZn
	79.3425	2 1 1	CuZn
PH 1 jam	42.2064	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.3336	1 1 0	CuZn
	79.2402	2 1 1	CuZn
PH 2 jam	42.1701	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.2601	1 1 0	CuZn
	79.5945	2 1 1	CuZn
PH 3 jam	43.2849	1 1 1	CuZn
	62.8607	2 0 0	CuZn
	79.5359	2 1 1	CuZn
PH 4 jam	42.1618	1 1 1	$\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$
	43.3728	1 1 0	CuZn
	79.4644	2 1 1	CuZn

**LAMPIRAN 5:****PDF Card****00-050-1333  $\alpha$ -Brass****Name and formula**

Reference code:	00-050-1333
Compound name:	Copper Zinc
Common name:	$\alpha$ -brass
Empirical formula:	$\text{Cu}_{0.64}\text{Zn}_{0.36}$
Chemical formula:	$\text{Cu}_{0.64}\text{Zn}_{0.36}$

**Crystallographic parameters**

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	3.6961
b (Å):	3.6961
c (Å):	3.6961
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	8.44
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	8.43
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	50.49
Z:	4.00

RIR: -

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2.13370	42.325	100.0
2	2	0	0	1.84780	49.275	38.0
3	2	2	0	1.30670	72.243	17.0
4	3	1	1	1.11440	87.454	15.0
5	2	2	2	1.06700	92.428	5.0
6	4	0	0	0.92390	112.971	2.0
7	3	3	1	0.84800	130.563	6.0
8	4	2	0	0.82660	137.463	6.0

00-002-1231  $\beta$ -Brass**Name and formula**

Reference code:	00-002-1231
Mineral name:	Zhanghengite, syn
Compound name:	Copper Zinc
Common name:	$\beta$ -brass
Empirical formula:	CuZn
Chemical formula:	CuZn

**Crystallographic parameters:**

Crystal system:	Cubic
Space group:	Pm-3m
Space group number:	221
a (Å):	2.9480
b (Å):	2.9480
c (Å):	2.9480
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	25.62
Z:	1.00
RIR:	-

**Subfiles and quality**

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Common Phase Inorganic Mineral
Quality:	Indexed (I)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	2.95000	30.273	6.0
2	1	1	0	2.08000	43.473	100.0
3	1	1	1	1.70200	53.819	1.0
4	2	0	0	1.47400	63.013	15.0
5	2	1	0	1.31900	71.465	2.0
6	2	1	1	1.20300	79.631	29.0
7	2	2	0	1.04200	95.335	5.0
8	3	0	0	0.98300	103.187	1.0
9	3	1	0	0.93200	111.482	8.0
10	3	1	1	0.88900	120.104	1.0
11	2	2	2	0.85100	129.692	5.0
12	3	2	1	0.78800	155.666	3.0
13	4	0	0	0.73800		4.0

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Fajar Ismail. Sehari-hari penulis dipanggil Fajar atau Mail. Penulis merupakan anak ke-3 dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Bojong Menteng 6 Kota Bekasi (2001-2007), SMPN 8 Kota Bekasi (2007-2010), SMAN 6 Kota Bekasi (2010-2013) dan menjalani dunia perkuliahan di Jurusan Teknik Material

dan Metalurgi ITS mulai 2013.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai Staff Departemen Hubungan Luar HMMT FTI-ITS, Manager Internal PM3I delegasi HMMT FTI-ITS serta Staff Departemen Mentoring LDJ Ash-Habul Kahfi (2014-2015) dan *Steering Comittee* Kaderisasi HMMT FTI-ITS (2015-2016). Di bidang akademik, penulis aktif sebagai Asisten Laboratorium Metalurgi untuk mata kuliah Teknologi Cor pada tahun 2016. Kegiatan kuliah penulis diakhiri dengan mengerjakan tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Penambahan Aluminium dan Waktu *Aging* pada Proses *Precipitation Hardening* terhadap Struktur Mikro dan Sifat Kekerasan Paduan Tembaga-Seng (Cu-37%wt Zn)”**

mfajar96@gmail.com

0821 1395 0080